

APLICACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO TOP DOWN Y
BOTTOM UP

VERÓNICA PAULINE RESTREPO MUÑOZ

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN

MEDELLÍN

2009

APLICACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO TOP DOWN Y
BOTTOM UP

VERÓNICA PAULINE RESTREPO MUÑOZ

Trabajo de grado para optar por el
título de Ingeniero de Producción

Gabriel Jaime Páramo

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN

MEDELLÍN

2009

Notas de Aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Medellín, 22 de enero de 2010

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar este trabajo, deseo expresar mis profundos agradecimientos a:

A mis padres, por el apoyo constante durante todos estos años y la confianza en mis capacidades.

A los profesores de la universidad por el acompañamiento y direccionamiento durante el transcurso de mis estudios.

Al asesor del proyecto de tesis, por el apoyo para llevar a buen término este trabajo.

F. RESUMEN

Este proyecto estudia y compara las metodologías Bottom Up y Top Down, utilizadas en el desarrollo de productos dentro de un departamento de manufactura en un ambiente colaborativo.

Se desarrollo un producto mediante ambas metodologías, posteriormente se analizo su incidencia en el comportamiento de indicadores de gestión, que miden el desempeño de una organización. Se destacan también los beneficios del Top Down en la manufactura de grandes ensambles, tomando como ejemplo un torno.

Palabras claves:

- Ingeniería Colaborativa
- Gran ensamble
- Sistemas de información
- Esquema
- Indicadores de gestión

E. GLOSARIO

Modularidad: consiste en dividir un sistema complejo en partes más simples, las cuales son llamadas módulos. Tiene como beneficios una mayor productividad, ya que al dividirse el trabajo se puede trabajar más rápido, además al desarrollar nuevos productos se pueden utilizar módulos previamente diseñados y así ahorrar tiempo y dinero.

Diseño paramétrico: herramienta utilizada en la Ingeniería Colaborativa, brinda consistencia, documentación y una rápida respuesta a los cambios. Generalmente para su aplicación se utiliza herramientas como el CAD, permitiendo la parametrización de los componentes de un ensamble. Una interfaz es utilizada para aplicar los cambios en todo el sistema.

El diseño paramétrico es de gran ayuda en la administración de ciclo de vida del producto, ya que acorta el tiempo de desarrollo y permite hacer los cambios de manera ágil, sin tener que reconstruir constantemente el producto. Integrando la información en cada etapa mediante la Ingeniería Colaborativa.

Esqueleto: estos capturan y definen la intención de diseño del producto y su estructura. Además permiten que los diseñadores intercambien información esencial entre ensambles, lo cual implica que al hacerse un cambio en un esqueleto sus componentes también se ven afectados.

Al emplear la metodología Top Down y usar esqueletos, se controla la siguiente información:

- Estructura del producto.

- Ubicación de los componentes.
- Conexiones y mecanismos.¹

Esquema: o *layout*, “este ayuda a mantener la intención del diseño en una locación central durante el desarrollo del producto. El proceso puede iniciar con un dibujo del ensamble o partes”².

Al contar con un esquema se puede determinar la relación matemática entre los parámetros del diseño, también permite documentar el ensamble como un todo.

La información es pasada a los ensambles una vez se declara en el esquema, esto trae como beneficio que al regenerar el ensamble los cambios son transmitidos por todo el sistema y las partes que lo conforman.

BOM: *bill of materials* o listado de materiales. Está compuesta por una descripción clara y precisa de la estructura del producto, se compone entonces de datos como: elementos integradores, cantidades, secuencia de montaje.

Además de indicar los elementos individualmente, se listan también los subensambles y componentes estándares o comerciales.

Un listado de materiales es de gran utilidad para los miembros dentro de un equipo de manufactura, ya que permite conocer los requerimientos del producto basado en sus componentes.

Lead time: hace referencia al tiempo de preparación o al tiempo que transcurre desde que se inicia un proceso hasta que se entrega el cliente.

¹ PTC, pro engineering versión 4.

² IBID

La reducción del *lead time* juega un papel muy importante en la disminución de costos dentro de la manufactura, también se relaciona con la cadena de suministros y la prontitud con que el cliente recibe su pedido.

A. CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
3. JUSTIFICACIÓN.....	4
4. IMPORTANCIA DEL PROYECTO.....	6
5. OBJETIVO GENERAL.....	7
5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
6. ALCANCE.....	8
7. MARCO TEÓRICO	9
7.1 METODOLOGÍAS DE DISEÑO.....	9
7.1.1 Metodología de diseño Bottom Up	11
7.1.2 Metodología de diseño Top Down	13
7.2 METODOLOGÍAS DE TRABAJO	20
7.2.1 Ingeniería Colaborativa.....	20
7.2.2 Ingeniería Concurrente	25
8. SELECCIÓN DE PRODUCTO	35
9. APLICACIÓN BOTTOM UP.....	37
9.1 CONSTRUCCIÓN CONCEPTUAL:.....	37
9.2 MODELACIÓN	38
10. APLICACIÓN TOP DOWN	40
10.1 CONSTRUCCIÓN CONCEPTUAL:	40
10.2 MODELACIÓN PRENSA	41
10.2.1 Familia de prensas	49
11. TOP DOWN, INGENIERÍA COLABORATIVA Y CONCURRENTE DENTRO DE UNA EMPRESA DE MANUFACTURA.....	53

12. CASO DE ESTUDIO: EL TORNO	55
13. INDICADORES DE GESTIÓN.....	60
14. CONCLUSIONES	66
15. RECOMENDACIONES.....	68
16. BIBLIOGRAFÍA.....	71
17. CITAS	76

B. ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Maximización de utilidades en el ciclo de vida del producto	5
Ilustración 2: Ciclo de diseño Top Down	10
Ilustración 3: Ciclo de diseño Bottom Up.....	10
Ilustración 4: Metodología de diseño Bottom Up	11
Ilustración 5: Metodología de diseño Top Down.....	14
Ilustración 6: Ubicación geográficamente dispersa de un equipo de trabajo	25
Ilustración 7: Herramientas empleadas en la Ingeniería Concurrente	27
Ilustración 8: Equipo de desarrollo de producto en la Ingeniería Colaborativa	31
Ilustración 9: Beneficio de la Ingeniería Concurrente	34
Ilustración 10: Prensa de banco.....	36
Ilustración 11: Conceptualización Bottom Up	38
Ilustración 12: Flujo de la metodología Bottom Up	39
Ilustración 13: Sub ensambles prensa	40
Ilustración 14: Ensamble final	40
Ilustración 15: Conceptualización Top Down.....	41
Ilustración 16: Flujo de la metodología Top Down en proe..	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 17: Parametrización de la prensa.....	44
Ilustración 18: Esquema del ensamble.....	44
Ilustración 19: Esqueleto en proe	48
Ilustración 20: Modelación esqueleto	48
Ilustración 21: Modelación utilizando los límites inferiores	51
Ilustración 22: Modelación tabla 3	52
Ilustración 23: Modelación tabla 4	53
Ilustración 24: Flujo de información dentro de un departamento de manufactura bajo el concepto de Ingeniería Colaborativa.....	54

Ilustración 25: Ensamble torno, modelado mediante Top Down	56
Ilustración 26: Departamentos de una empresa de manufactura	57
Ilustración 27: Ingeniería alrededor del desarrollo del torno	58
Ilustración 28: Extracto del BOM arrojado por proe	60

\

C. TABLAS

Tabla 1: Parámetros de la prensa	44
Tabla 2: Parametrización utilizando los límites inferiores	50
Tabla 3: Parametrización utilizando valores intermedios	51
Tabla 4: Parametrización utilizando la máxima altura.....	52

D. ANEXOS

1. ENCUESTA.....	81
2. TUTORIAL TOP DOWN.....	88

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente vivimos en un mundo globalizado, en el cual las personas que trabajan dentro de una misma empresa pueden estar localizadas en lugares distantes geográficamente, por lo que el intercambio de información constituye una parte muy importante en el éxito de los proyectos.

La internet ha tenido un gran impacto en la forma como el conocimiento se hace de acceso fácil e inmediato, como por ejemplo en el desarrollo de nuevos producto que sin ésta herramienta no sería posible llevarlos a cabo.

Otra herramienta que ha llegado con el desarrollo de la tecnología son los programas CAD, CAM y CAE, estos proporcionan a las empresas la posibilidad de hacerse más competitivas a partir de instrumentos facilitadores del diseño, el ensamble y la manufactura. Repercutiendo directamente en el ciclo de vida del producto y en su optimización, la cual incluye la reducción de tiempo, de costos y un mayor valor agregado para el cliente.

Directamente relacionadas con el PLM (Product Lifecycle Managment, por sus siglas en inglés), se encuentran las metodologías mediante las cuales se crean nuevos productos. En nuestro medio tradicionalmente este desarrollo se ha hecho bajo la metodología de Bottom Down, ésta comienza por la definición de funciones las cuales se van trabajando de manera independiente para finalmente unir las en un producto.

Este proyecto de grado empleará la metodología Top Down como forma para desarrollar productos, un proceso que se basa en esta manera de diseñar comienza por identificar las metas críticas y los problemas de desarrollo de manera temprana, así se puede administrar proactivamente el riesgo, la planeación, las metas y el diseño de actividades.

Finalmente, como meta, se tiene la realización de una comparación entre el diseño Top Down y Bottom Up, para demostrar las ventajas que tiene la implementación del primero sobre el ciclo de vida del producto.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

También conocida como metodología de diseño desde arriba hacia abajo, Top DOWN es una estrategia de procesamiento de información y de diseño, en la cual se parte de un concepto general desde el cliente, para después desarrollar por niveles los detalles en el Departamento de Ingeniería.

Por medio de este proyecto de grado, se destacará en la Universidad, las ventajas y aplicaciones del concepto TOP DOWN DESIGN, enfocándose también en el beneficio económico que se conseguiría al simplificar las operaciones.

El TOP DOWN DESIGN se analizará desde la conceptualización del producto, su planeación y se desarrollará desde el punto de vista de la Ingeniería de Producción, presentando un caso aplicado.

3. JUSTIFICACIÓN

A través de la realización de este trabajo se simplificarán operaciones que se vuelven repetitivas, así se podrá tener un mayor control del diseño y sus cambios, incidiendo en la reducción del ciclo de vida del producto y todas las ventajas que esto conlleva. Como son: reducir los costos de desarrollo, elevar productividad, y mejorar la utilización de los recursos.

Se tendrán en cuenta las funciones y relaciones entre las partes por medio de las cajas negras, para así obtener una mayor flexibilidad que ayude a tener tiempos de respuesta más cortos acorde a las exigencias de los clientes.

Por otro lado, se aprovecharán las ventajas de la Ingeniería Concurrente, la cual está orientada a integrar sistemáticamente un departamento.

Ilustración 1: Maximización de utilidades en el ciclo de vida del producto



Fuente: WIKIPEDIA@ 2009. *Product lifecycle management*.
http://en.wikipedia.org/wiki/Product_lifecycle_management

4. IMPORTANCIA DEL PROYECTO

La importancia de este proyecto es comparar la tradicional metodología Bottom Up, utilizada en nuestro medio. Con un modelo con un enfoque diferente, Top Down. El cual trae múltiples beneficios, que se pueden aplicar no sólo en un departamento de Ingeniería de Producción, sino en otras áreas como el diseño de circuitos, la programación, construcción, administración, etc.

La innovación es un factor importante para la permanencia de las empresas en el tiempo y para poder competir internacionalmente en un mercado globalizado. Por esto, es importante la realización de una aplicación que permita a la industria local apreciar los beneficios que trae la metodología Top Down al el ciclo de vida del producto, desde la etapa de desarrollo de producto. En Colombia hay pocas empresas que trabajan bajo esta estructura de diseño, entre ellas: Siemens.

5. OBJETIVO GENERAL

Aplicar la metodología Top Down como una estrategia para el desarrollo de productos en una empresa manufacturera y compararla con Bottom Up.

5.1 Objetivos específicos

- Seleccionar un producto a desarrollar mediante la modelación en un programa CAD
- Aplicar paso a paso las metodologías de diseño Top Down y Bottom Up en el desarrollo del producto seleccionado
- Construir indicadores de gestión que permitan evaluar ambas metodologías para establecer diferencias
- Analizar los resultados obtenidos a partir de los indicadores de gestión

6. ALCANCE

El alcance de este proyecto de grado será demostrar las diferencias que resultan en el desarrollo del producto al emplear la metodología de diseño Top Down, en vez de la tradicional metodología Bottom Up. Registrándose la incidencia que se tiene en el departamento de manufactura, desde la realización de indicadores de gestión.

Se llevará a cabo mediante la modelación de un ejemplo práctico y la realización de tablas comparativas, que nos permitan ver de manera clara las características a analizar y sus variaciones en cada una de las metodologías.

7. MARCO TEÓRICO

7.1 METODOLOGÍAS DE DISEÑO

“La metodología del diseño ha sido una constante en la búsqueda de soluciones a través de la experiencia acumulada en el diseño de productos”¹. Esta es utilizada para buscar soluciones, las cuales pueden ser encontradas mediante diferentes métodos, por ejemplo: la lluvia de ideas, el análisis morfológico, analogías y el método Delfos. Todas estas metodologías permiten explorar la mente creativa del diseñador.

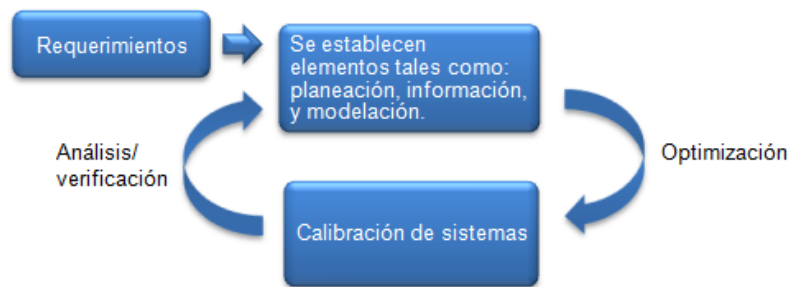
La teoría general de sistemas provee otra aproximación al diseño, y permite hacer frente a problemas de diferentes orígenes. Básicamente una metodología sistemática permite vincular los diferentes subsistemas mediante el uso de variables.

“Tradicionalmente dos alternativas de diseño, Top Down y Bottom up, han sido empleadas en el desarrollo de nuevos productos. En la metodología Top Down, el diseño comienza desde el nivel superior. Las especificaciones son definidas en términos del estado del sistema global y cada componente individual debe ser estimado con suficiente tiempo”².

¹ HERNANDIS, Bernabé *et al.* Diseño de nuevos productos. Valencia: Servicio de Publicaciones, 1999. p.21

² CRESPI, Valentino *et al.* Top-down vs. bottom-up methodologies in multi-agent system design. Received: 18 May 2007 / Accepted: 14 December 2007 / Published online: 5 January 2008 © Springer Science+ Business Media, 2008. p.1

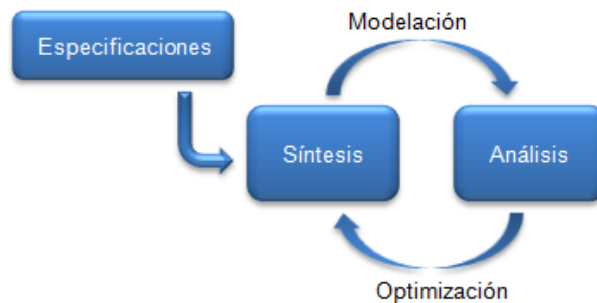
Ilustración 1: Ciclo de diseño Top Down



Fuente Elaboración propia

En la metodología Bottom Up, las reglas de iteración se tratan de manera *ad hoc*. Desde Bottom Up, el estado global de los componentes se asume que es difícil de obtener. El comportamiento colectivo deseado emerge entonces de la interacción de los componentes individuales.

Ilustración 2: Ciclo de diseño Bottom Up

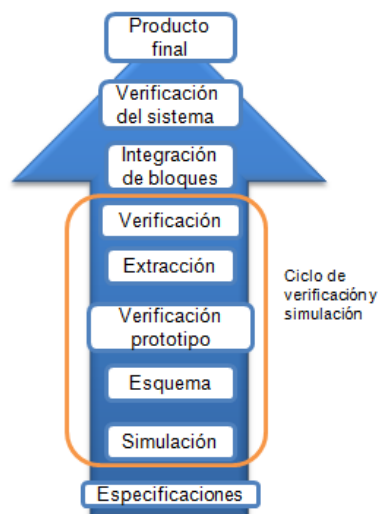


Fuente Elaboración propia

7.1.1 Metodología de diseño Bottom Up

“Esta metodología consiste en reunir diferentes sistemas que conformaran un todo. Los elementos individuales son especificados en gran detalle, los componentes se van uniendo unos con otros hasta conformar un sistema final, que se logra al llegar al nivel superior”³. Esta estrategia asemeja al modelo “semilla”, en el cual se parte de algo pequeño que va creciendo hasta llegar a un sistema terminado y complejo.

Ilustración 3: Metodología de diseño Bottom Up



Fuente Elaboración propia

³ MASI, C.G. Hybrid approach to system design. Estados Unidos. Revista Control Engineering. Febrero 2008. p.58

En el Bottom Up no se necesita tener una imagen clara del estado final del proyecto, sino que para empezar basta con una característica en particular. Es así como se van juntando las pequeñas piezas que luego conformaran un gran sistema, formado por sub sistemas.

Esta metodología tiene sus desventajas, por ejemplo se necesita mucha intuición para decidir la funcionalidad que se le va a dar a cada modulo. Por esto si se está trabajando con un sistema existente es más fácil desarrollar el proyecto que si se empieza desde cero.

Otros aspectos negativos son:

- La verificación a través del proceso se hace muy difícil, casi imposible una vez se está trabajando con grandes ensambles. Por lo que se debe invertir mucho tiempo en la revisión. Necesitándose tiempo adicional para encontrar el error y corregirlo.
- Al emplear un diseño Bottom Up, poca o ninguna exploración es hecha previamente, lo que hace que las mejoras posibles en el diseño sean obviadas.
- “Cualquier error o problema que sea encontrado en el momento de ensamblar el sistema es más costoso de corregir, ya que involucra el rediseño de los bloques de diseño”⁴. Además los procesos deben ser

⁴ KUNDERT, Kenneth. The Designer's Guide to Verilog-AMS. Boston, Kluwer Academic Publishers. 2004. P.17

- desarrollados en serie, lo que genera que el tiempo para terminar el diseño sea más largo.
- “El número de diseñadores que pueden ser empleados en el proceso de diseño Bottom Up, está limitado por la comunicación intensiva entre diseñadores y la naturaleza inherente de los pasos que se sigue. Además la comunicación necesaria requiere que los diseñadores estén localizados en el mismo espacio”⁵.
- No hay fluidez en esta metodología, lo que lleva a que el diseñador no esté seguro de que los bloques de diseño vayan a funcionar una vez este el diseño completo. Además esto solo se sabrá una vez se construya el prototipo, una etapa muy adelante en el proyecto.
- Sin canales de comunicación confiables los diseñadores usan especificaciones escritas o verbales que pueden estar incompletas o mal formuladas, las cuales se pueden olvidar a mitad del proyecto. La mala comunicación genera errores y la separación de bloques permite que los errores sean encontrados una vez finalizado el proyecto.

7.1.2 Metodología de diseño Top Down

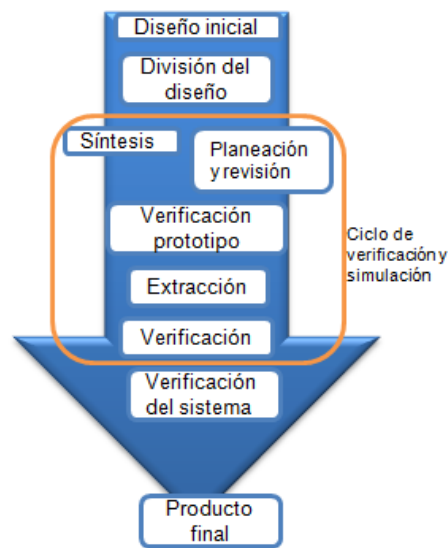
Esta metodología es una estrategia para procesar información y conocimiento. Se emplea en diferentes áreas como: diseño de circuitos, desarrollo de productos, y

⁵ IBID

de software. Este último es el campo que más se ha beneficiado de esta metodología, permitiendo desmenuzar los problemas en módulos que permiten que los programadores trabajen de manera más eficiente, ya que los programas al estar divididos son más fáciles de leer y así es posible identificar los errores. Además se pueden reutilizar los módulos que sean comunes creando así programas modulares⁶. Lo que permite ahorrar tiempo y dinero, además al administrador del proyecto se le hace más fácil hacer seguimiento del progreso.

Una vez el programa está terminado el emplear Top Down hace más fácil el mantenimiento, ya que al presentar algún daño no se hace necesario cambiar todo el programa, por el contrario la falla es fácilmente identificable, además de esto, solo es indispensable cambiar el módulo defectuoso.

Ilustración 4: Metodología de diseño Top Down



Fuente Elaboración propia

⁶< <http://mrsmith321.wordpress.com/2007/09/17/top-down-design-and-the-modular-approach-extra-note>>

El desarrollo de productos en nuestro medio mediante la metodología de diseño Top Down es un campo poco explorado. De manera similar al desarrollo de software esta metodología es aplicada de la siguiente manera: se inicia por un nivel superior y se va emigrando a los niveles inferiores, buscando establecer las funciones entre las partes del producto para finalmente ultimar los detalles.

De esta manera las especificaciones se establecen desde el principio y se transfieren a todo el sistema. Los parámetros son establecidos en el esquema, mientras que los cambios toman forma con el esqueleto, es muy útil cuando se está trabajando con grandes y medianos ensambles ya que simplifica el trabajo, por esto que la industria automotriz se beneficia del Top Down.

Al desarrollar de esta manera el diseño se va trabajando en partes cada vez más pequeñas, lo que permite a los diseñadores trabajar de manera más productiva, tendiendo a reducir el tiempo total requerido para completar el diseño. La metodología de diseño Top Down formaliza y mejora la comunicación entre diseñadores ayudando a reducir los errores debido de la mala comunicación, también permite que las personas involucradas estén localizadas en sitios distantes entre sí y aun así trabajar de manera eficiente.

El Top Down también disminuye el impacto de los cambios que aparecen más adelante en el ciclo de diseño. Si el producto necesita ser parcialmente rediseñado, la metodología usada permite que el cambio sea hecho rápidamente. El modelo puede ser actualizado de manera pronta y el impacto en el resto del sistema puede ser evaluado de manera diligente gracias a la parametrización utilizada en el diseño del producto.

Para que este proceso Top Down sea efectivo, se parte se los siguientes principios básicos:

1. Una representación de diseño compartida, que es usada durante todo el proceso y permita a los diseñadores trabajar de manera simultánea en el esquema.
2. Durante el proceso de diseño cada cambio puede ser verificado fácilmente y confirmado para que este correcto.
3. Un proceso de diseño que incluye una cuidadosa planeación de la verificación, donde los riesgos son identificados y los planes de modelación y simulación son desarrollados para mitigar estos riesgos.
4. Se involucran múltiples pasos, empezando con un nivel de abstracción superior y se van refinando los detalles.
5. En lo posibles las especificaciones deben manifestarse de manera tangible (modelación), pero a la vez debe tener documentos escritos que permitan documentar y replicar el diseño en el futuro.

Un término que va de la mano de la metodología es parámetro de diseño; este es un elemento básico y se puede dividir en parámetros de atributo y parámetro de desempeño. Los primeros hacen referencia a la estructura, dimensión o geometría, mientras que los parámetros de desempeño sirven para medir el ciclo de vida. De manera más específica en el diseño se usan los parámetros para incluir requerimientos del producto y metas de diseño.

Otras áreas donde es aplicada:

- Nanotecnología: el término Top Down se comenzó a utilizar en 1989 para diferenciar entre la manufactura molecular y la manufactura convencional (Bottom Up).
- Neurociencia y psicología: este término es empleado junto al Bottom Up en el estudio de atención visual.
- Administración y organizaciones: Top Down y Bottom Up hacen referencia a la manera que la organización realiza la toma de decisiones.
- Salud pública: Top Down se utiliza para controlar la erradicación de enfermedades tales como el sida y la viruela, mientras que Bottom up se aplica en programas de higiene y sanidad. También se ha utilizado la combinación de ambas metodologías.
- Arquitectura: la corriente de diseño Bauhaus se enfoca en el Bottom Up, mientras que École des Beaux-Arts utiliza el Top Down para el desarrollo de sus diseños.
- Ecología: Top Down es empleado como termino para definir la relación entre depredadores y presas. Mientras Bottom Up describe un ecosistema en el cual los nutrientes primarios controlan la estructura del ecosistema.

Ventajas:

La aplicación del Top Down en el desarrollo de productos trae consigo varios beneficios:

- Facilidad de la gestión de proyectos.
- Rápida respuesta a los cambios y gran flexibilidad a las modificaciones, gracias a que lleva a la aplicación del diseño modular.
- “Captura de la información general del diseño en una locación central”⁷.
- “Comunica la información de la estructura del sistema a los niveles más bajos”⁸.
- El esqueleto muestra claramente como está integrado cada modulo.
- Se generan menos errores en las operaciones, ya que hay una verificación en cada modulo.
- Mejora la comunicación entre ingenieros; esta es perfeccionada de manera substancial de dos maneras: primero, el uso de un sistema de modelo compartido en el cual todos verifican sus diseños elimina la mala comunicación que ocurre en el Bottom Up. Segundo, las especificaciones son más detalladas y menos ambiguas.
- Aumento de la productividad, mejoría que surge del proceso de Top Down debido principalmente a la disminución de errores. Esta reducción en

⁷ REMMERS, Victor. Victor Remmers. Top-Down Design Tools Managing Complex Assemblies. Estados Unidos. PTC. 26.02.2009. p.5

⁸ IBID

conjunto con una mejor comunicación entre ingenieros, se traslada en un menor tiempo corrigiendo y recuperándose de los errores y más tiempo dedicado a actividades productivas.

- Brinda una mejor habilidad para administrar diseños complejos, que nace de la exploración del sistema y del mayor entendimiento de donde viene el diseño.
- Ejecución simultanea de tareas, lo que lleva a una reducción del tiempo requerido para introducir un producto al mercado, es un factor importante en el éxito y en las ganancias de su producto. Parte de la reducción de tiempo en las respuestas del mercado es resultado de la mejora en productividad y efectividad del equipo de diseño.
- Una rigurosa metodología de diseño Top Down trae como beneficio que los ingenieros estén más involucrados en el desarrollo del proceso. La existencia de un modelo compartido permite un desarrollo en paralelo de los bloques de diseño, eliminando el retardo que generan las actividades en serie.

El empleo de la metodología Top Down propone:

1. Mejorar la comunicación entre diseñadores (los actuales y futuros).
2. Mejorar el control de calidad, ya que encuentra los errores en etapas más tempranas de diseño donde son más fáciles de corregir y menos costosos.

3. Mejorar la efectividad de los diseñadores.
4. Reorganizar las labores de diseño, haciendo las tareas en paralelo en vez de crear dependencias en serie.
5. Reducir la necesidad de una extensiva verificación del estado final del diseño.⁹

En el mundo que vivimos hoy en día es difícil conseguir las habilidades para ser exitoso en la metodología Top Down, se debe tener en cuenta que la transición a esta metodología puede ser lenta.

7.2 METODOLOGÍAS DE TRABAJO

7.2.1 Ingeniería Colaborativa

“La Ingeniería Colaborativa tiene como objetivo proveer de conceptos y tecnología a un equipo de ingenieros para que puedan trabajar de manera eficiente a pesar de estar localizados en diferentes lugares”¹⁰. La necesidad de la industria para esta innovación yace en el hecho que las estructuras de una organización pueden encontrarse en múltiples ciudades o países. Es por esto que la Ingeniería Colaborativa se ha convertido en uno de los factores clave en la flexibilización de procesos y en el desarrollo de productos.

⁹ <http://www.springerlink.com/content/l36581754617688x/fulltext.pdf>. Consultado el 20 de agosto de 2009. P.18

¹⁰ RODDIS, Kim. Knowledge-Based Assistants in Collaborative Engineering. Berlin: Springer, 1998. P.320

Debido a la globalización cada vez más productos son desarrollados de manera colaborativa, tanto a nivel de personas como de organizaciones. “Este desarrollo colaborativo de productos incluye aspectos como: diseño, manufactura, operaciones y administración”¹¹. Por ejemplo la industria manufacturera en los últimos años se ha direccionado hacia la reducción de costos, sistemas de alta calidad y ha buscan nuevos nichos de mercado.

El mercado actual requiere rápidas actualizaciones en los diseños y una gran flexibilidad en el sistema de manufactura. “Consecuentemente la colaboración es esencial en el proceso de diseño para prevenir errores en la decisiones tomadas, reducir el tiempo de diseño y aumentar la calidad”¹². Dos de los más importantes elementos hoy en día en un ambiente cambiante son el incremento en del nivel de sofisticación del producto y sus variaciones, para permanecer competitivos las empresas deben minimizar los costos mediante la integración de las diversas áreas de la organización involucradas en el ciclo de vida del producto.

Lo más difícil es la integración de la comunicación, que puede ser diversa y con datos de diferentes orígenes. Se utiliza también una modelación compartida durante todo el proceso de diseño de ingeniería, lo que resulta en prototipos virtuales. Para facilitar el intercambio se trabaja en estaciones de trabajo que permiten utilizar software para la alta visualización y modelación, redes de alta velocidad para el intercambio de datos, sistemas ERP, información en formatos compatibles y estándares apropiados. “La correcta unificación e interacción desde el principio reduce los problemas que se generan en la integración final del

¹¹ SANTORO, Flavia Maria *et al.* Learning to Plan the Collaborative Design Process. Berlin: Springer, 2005. P.33.

¹² RIBA, Carles *et al.* A Framework for Tolerance Analysis in Collaborative Engineering Mechanical Design. Berlin: Springer, 2008. p.58.

proceso. Es por esto que un sistema con las anteriores características es utilizado para obtener óptimos resultados”¹³.

“La colaboración es clave cuando se cuenta con múltiples participantes en la búsqueda por llegar a una meta en común”¹⁴. Esta incluye individuos, organizaciones con diferentes roles o perspectivas en el proceso. Colaboración no es concurrencia, sino la correcta coordinación de procesos, los participantes en el proceso no siempre producen, ensamblan o modifican el proyecto en una manera simultánea o paralela. Por esto es muy importante conocer el flujo del trabajo, que actividad desarrollada cada persona y como será la comunicación entre ellos.

Equipos de trabajo:

“Hoy en día las organizaciones administran el ciclo de desarrollo de sus productos implementando la Ingeniería Colaborativa. Esto se hace en tiempo real, intercambiando información entre los equipos de ingeniería y manufactura, proveedores, clientes y compañeros”¹⁵. El esfuerzo para trabajar en equipo en armonía, logrando las metas propuestas, a tiempo y bajo el presupuesto es crítico. Es por esto que es necesaria una comunicación confiable. Las personas dentro de un equipo de trabajo pueden tener sus metas en particulares, por lo que se pueden presentar conflictos en las diferentes etapas del proceso.

¹³ NASR, Emad Aboue, KAMRANI, Ali K. Computer Based Design and Manufacturing. Estados Unidos: Springer, 2007. P.307

¹⁴ RIBA, Carles *et al.* A Framework for Tolerance Analysis in Collaborative Engineering Mechanical Design. Berlin: Springer, 2008. p.58.

¹⁵ SANTORO, Flavia Maria *et al.* Learning to Plan the Collaborative Design Process. Berlin: Springer, 2005. P.34.

“La Ingeniería Colaborativa requiere el intercambio de información dentro de un equipo multidisciplinario ya que el trabajo es realizado por personas ubicadas en diferentes lugares”¹⁶. El reto es entonces contar con el soporte tecnológico que permita hacer seguimiento al desarrollo de producto e intercambiar información en forma adecuada. “Si el equipo de trabajo solo se reúne de manera periódica la efectividad es limitada”¹⁷, gracias a las redes la comunicación la información fluye correctamente, mejorando las relaciones entre los miembros del equipo y facilitando el proceso de desarrollo.

Es importante en la colaboración derribar las barreras que existan entre departamentos para que las personas puedan interactuar y relacionarse unas con otras, así se resuelven más fácilmente los problemas y preguntas que puedan surgir. Además pueden aprender de la experiencia de los otros y complementarse. La cercanía entre equipos fomenta la realimentación y la búsqueda de soluciones, también se mejora la solución a los problemas.

“Las tareas paralelamente realizadas acortan los *lead times*, mejoran la eficiencia del sistema y del desarrollo del producto”¹⁸. Para acortar el ciclo de vida del producto es necesario tener toda la información que va a ser utilizada, además el

¹⁶ RODDIS, Kim. Knowledge-Based Assistants in Collaborative Engineering. Heidelberg: Springer. 2006. P.320

¹⁷ NARS, Emad *et al.* Computer-Based Design and Manufacturing. Houston: Springer, 2007.p.309.

¹⁸ IBID.p.311

modelo del producto debe ser accesible a los desarrolladores dispersados geográficamente.

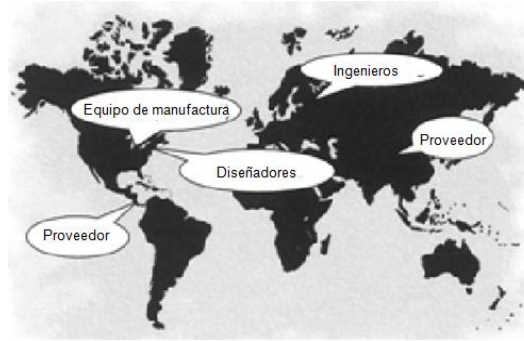
Ciclo de vida:

La buena administración del ciclo de vida del producto es muy importante para que la implementación Ingeniería Colaborativa sea eficiente. Para esto se requiere mejorar la planeación y el manejo de la interrelación entre sistemas para aumentar la productividad. Existe la tecnología que permite integrar sistemas (MRP, MRPII, ERP, PDM, PLM) para ser usados en la toma de decisiones en esas áreas. Estas herramientas incrementan los beneficios que trae la Ingeniería Colaborativa, ya que provee acceso instantáneo de la información y la coordinación del flujo de trabajo. Por ejemplo el software utilizado en el PLM al ser implementado, debe ser utilizado bajo un modelo de Ingeniería Colaborativa.

Hay una variedad de procesos y metodologías que pueden ser utilizadas en el ciclo de vida del producto:

- Diseño industrial
- Diseño Top Down
- Diseño Bottom Up
- Simulación digital de ingeniería
- Diseño para la manufactura/ ensamble

Ilustración 5: Ubicación geográficamente dispersa de un equipo de trabajo



Nars, Emad et al. *Computer-Based Design and Manufacturing*. Houston: Springer, 2007.p.308

Ventajas:

- Rápido análisis de las diferentes alternativas y el balanceo de los requerimientos.
- Provee de datos para la generación de la documentación y manufactura.
- “Al contar con una información más fluida entre miembros del proyecto la organización identifica sus problemas rápidamente lo que expedita su solución”¹⁹.

7.2.2 Ingeniería Concurrente

El principio básico de la Ingeniería Concurrente es la integración de metodologías, procesos, recursos humanos, herramientas y métodos que apoyen el desarrollo de un producto. Este tipo de ingeniería se denomina multidisciplinaria, la cual incluye aspectos de sistemas de bases de datos, hipermedia y CAD/CAM. Además al ser una técnica de administración que permite optimizar los ciclos de diseño. Es por

¹⁹ SANTORO, OP.CIT., P29

esto que es de amplia aplicación en la industria, sobretudo en el sector aeroespacial.

Los principios de la Ingeniería Concurrente se adoptaron hace 15 años en la industria automotriz y electrónica. A su vez en el diseño y la manufactura se han utilizado para reducir el costo de los productos, además de la posibilidad de aprovechar la ventana de oportunidad de los productos al ser lanzados al mercado más rápido.

La Ingeniería Concurrente gira en torno a dos conceptos básicos:

- 1) El ciclo de vida del producto debe ser tenido en cuenta en al inicio de la etapa de diseño, esto incluye: funcionalidad, ensamble, pruebas, mantenimiento e impacto ambiental.
- 2) Las actividades de diseño deben realizarse de manera concurrente, es decir al mismo tiempo. “Desarrollar los productos de manera secuencial toma mucho más tiempo además conlleva a mas procesos de rediseño”²⁰, Lo que no permite incrementar la productividad, ni calidad del producto. La ingeniería Concurrente ayuda a encontrar los errores en las primeras etapas del diseño, cuando el proyecto aun se encuentra en una etapa abstracta, en la cual es más fácil y menos costoso corregir errores.

²⁰ ROUIBAH, Kamel y CASKEY, Kevin. Change Management in Concurrent Engineering from a Parameter Perspective. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V, 2003. P.17

Ilustración 6: Herramientas empleadas en la Ingeniería Concurrente



Fuente Elaboración propia

En el proceso de diseño se debe tener en consideración el ciclo de vida del producto. Este incluye: requerimientos de usuarios, diseño conceptual, modelos computacionales, prototipos físicos y la manufactura del producto. La planeación permite prever los problemas de diseño. La detección temprana de errores, antes de la construcción física, hace que sean más fáciles de corregir, ahorrando tiempo y dinero.

Un aspecto importante de la Ingeniería Concurrente es que el ingeniero tiene más conocimiento sobre el proceso de diseño, ya que al trabajar de manera colaborativa el flujo de la información permite informar a todos los participantes del equipo de las diferentes etapas. “La implementación de los cambios requiere entonces de la aprobación de todas las personas involucradas, a las cuales afectara”²¹.

²¹ ROUIBAH, Kamel y CASKEY, KEVIN. Change Management in Concurrent Engineering from a Parameter Perspective. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V, 2003. P.22

La tecnología tienen un importante papel en la Ingeniería Concurrente, por ejemplo las herramientas: CAD, CAM, CAE y Windchill, permiten compartir información, analizar y procesar datos. Además promueven la Integración de proyectos por medio de bases de datos y sistemas de información, optimizando el diseño. La construcción de este sistema no es rápida ni de bajo costo, pero permite asegurar el almacenamiento de información en forma lógica y consistente. Estos sistemas y herramientas si son usados correctamente pueden ser de gran beneficio para el desarrollo del proyecto.

El diseño tradicional no se vale de equipos verdaderamente multidisciplinarios, ni provee una plataforma que permita la participación de todos los miembros del equipo. Por lo que la madurez del proyecto es alcanzada cuando el prototipo es construido, cualquier problema a esta altura de los proyectos será más costoso y tomara más tiempo para rediseñar. Se reduce también el *lead time*, debido a la integración de las actividades de diseño y manufactura, y a que las actividades son realizadas en paralelo.

En la Ingeniería Concurrente la meta es que el producto salga bien la primera vez, facilitando los mecanismos para que esto suceda. Es así como el costo inicial de diseño puede ser más alto que el del diseño convencional pero los costos de corregir errores y rediseño serán menores. También será necesario invertir en la capacitación del equipo de trabajo, pero el presupuesto a la vez será beneficiado ya que desde el principio se puede prever.

Componentes clave para el desarrollo de esta metodología:

- Entendimiento claro de los requerimientos del cliente.
- Estabilidad en las especificaciones del proyecto.
- Estructura sistemática del desarrollo de productos.

- La habilidad de conformar equipos de trabajo eficientes.
- Metas unificadas y claras.
- Trabajo colaborativo
- Reducir costos y tiempo de lanzamiento al mercado
- Realizar las tareas en forma paralela.
- El uso del soporte de la tecnología permite disminuir el tiempo invertido en el desarrollo del prototipo físico y pruebas.

Como aplicar la Ingeniería Concurrente:

- Debe haber compromiso y crear un plan de trabajo, ya que el cambio afectara a toda la organización. Se contara además con un liderazgo definido, con la adecuada administración, soporte y planeación
- Cada organización debe adaptar la Ingeniería Concurrente a sus necesidades, ya que hay aspectos de esta que pueda que sirva o no.
- La comunicación es un punto clave en la ingeniería Concurrente, es por esto que se debe crear canales de comunicación entre la organización y los individuos que la conforman.

Equipos de trabajo:

El trabajo en equipo es una parte integral del trabajo de la Ingeniería Concurrente, ya que representa el medio para la integración de la organización. Por esto requiere de:

- Flexibilidad y de cooperación continúa.

- Sentimiento de obligación a las metas alcanzadas.
- Comunicación mediante el intercambio de información.
- Compromiso.
- Consenso a pesar de las discrepancias.
- Mejoramiento continuo y reducción del tiempo de procesamiento²²

Ilustración 7: Equipo de desarrollo de producto en la Ingeniería Colaborativa



Fuente Elaboración propia

“Los equipos serán multidisciplinarios y se comunicara mediante un sistema central de información”²³, que les proveerá de datos, infraestructura, planeación de actividades y progreso. Los proveedores y clientes también participaran de manera virtual debido a la dispersión geográfica.

Los miembros del equipo necesitan una perspectiva general de proyecto, esto se puede lograr por medio de capacitaciones en conceptos como ciclo de vida del

²² STARBEK, Marco y GRUM, Janez. Concurrent engineering in small companies. Oxford, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Received 4 May 2000; accepted 20 July 2001. p.418.

²³ IBID, p.418

producto, reducción de costos y presupuesto. Las decisiones deben tomarse por consenso con participación de los miembros en cuando a decisiones de diseño y solución de problemas. Además las personas que conforman el equipo deben tener acceso a la información a tiempo, la tecnología que usan debe ser compatible para permitir el flujo de información.

La clave para que la Ingeniería Concurrente pueda ser aplicada en un cambio en la cultura, eficiencia en el control de costos, planeación y valoración de trabajo en equipo.

Ciclo de vida del producto

La ingeniería Concurrente también es llamada ingeniería para el ciclo de vida del producto, esta es un nivel en que se integran equipos de manera efectiva, mediante una aproximación sistemática a la integración del diseño de productos y sus procesos relacionado. La intención de la Ingeniería Concurrente es que los desarrolladores consideren los elementos del ciclo de vida del producto. Incluyendo: calidad, concepto, costos, planeación y requerimientos de usuario.

“Si una compañía quiere producir productos de clase mundial, entonces todo sus procesos y los de otras empresas que conformen su cadena de suministros también deben ser de clase mundial”²⁴.

La meta de la Ingeniería Concurrente es reducir el tiempo invertido en el diseño y desarrollo de nuevos productos. Se ha identificado que la reducción esta por el orden del 30-70% en el ciclo total del desarrollo.

²⁴ ANUMBA, C.J *et al.* Supply Chain Implications of Concurrent Engineering. Bradford: MCB UP Ltd, 2000. P.567

Los beneficios que trae consigo esta reducción de tiempo son:

- Se posee una ventaja competitiva sobre la competencia, ya que esta tardara más tiempo en responder al mercado, a las necesidades del cliente, a las nuevas tecnologías, etc.
- El retorno de inversión es más rápido.

La forma de trabajo permite evitar grandes cambios en especificaciones y componentes a través del ciclo de vida, ya que el producto fue desarrollado teniendo en cuenta el diseño y la manufactura. La ingeniería Concurrente favorece el desarrollo de productos de mayor calidad, al estar el proceso en mente se puede ser más productivo en el proceso de manufactura.

Algunos ejemplos de las consecuencias no de responder rápidamente a los cambios en los requerimientos del mercado:

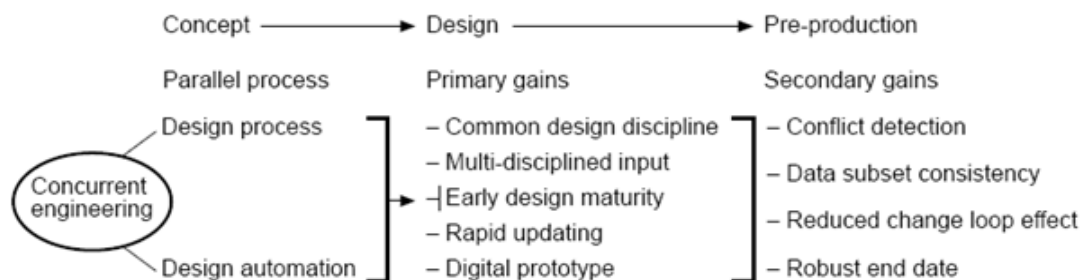
- Lanzar un producto con 6 meses de retraso, puede generar un disminución de un 30% en las utilidades en un periodo de cinco años. Mientras que aumentar el presupuesto en un 50% para lanzar el producto a tiempo disminuirá solamente en un 4% las utilidades. (Reinertsen, 1983; Crawford, 1992).
- Una compañía automotriz europea perdió U\$ 1.8 billones en ganancias, debido a un lanzamiento al mercado con un retraso de un año. (Holberton, 1991).
- Las compañías japonesas tiene ciclo de desarrollo más cortos y menos costosos, lo que les permite más tiempo para explorar programas y estrategias. (Anon, 1993)²⁵

²⁵ ANUMBA, C.J *et al.* Supply Chain Implications of Concurrent Engineering. Bradford: MCB UP Ltd, 2000. P.568

Ventajas

La Ingeniería Concurrente crea además una ventaja competitiva, si bien al principio deben implementarse cambios en una compañía que decida usar esta estrategia, los beneficios a largo plazo son múltiples. “Algunos de los beneficios de contar con un equipo multidisciplinario incluyen: la reducción del tiempo de desarrollo, menores costos y se evitan rediseños en etapas maduras del desarrollo del producto”²⁶. Permite la detección temprana de errores, así son más fáciles y menos costosos de corregir. Se crea una filosofía para hacer las cosas bien desde el principio.

Ilustración 8: Beneficio de la Ingeniería Concurrente



Fuente: BRADLEY, Concurrent engineering for bespoke products. MCB UP Ltd., 1996. P.35.

La industria aeroespacial, con empresas como Shorts y Boeing, ha adoptado la estrategia de metodología Concurrente para diseñar y construir sus aeronaves en

²⁶ BOYLE, Todd *et al.* Concurrent Engineering Teams II: performance consequences of usage. Emerald Group Publishing Limited, 2006. P.125.

menor tiempo. “Esta metodología es crítica en el desarrollo de cualquier proceso, ya que contribuye a una mayor eficiencia en la organización”²⁷.

Otros beneficios son:

- Menores costos de producción y manufactura.
- Menor tasa de defectos.
- Menos personal y recursos requeridos.
- Mejor manejo de inventarios y planeación.
- Posibilidad de trabajar en paralelo.

Los beneficios no solo son para la empresa y el equipo que trabajó en el desarrollo, también los clientes reciben un producto de calidad acorde a sus requerimientos.

Desventajas:

Existen principalmente 3 desventajas de la aplicación de la Ingeniería Concurrente

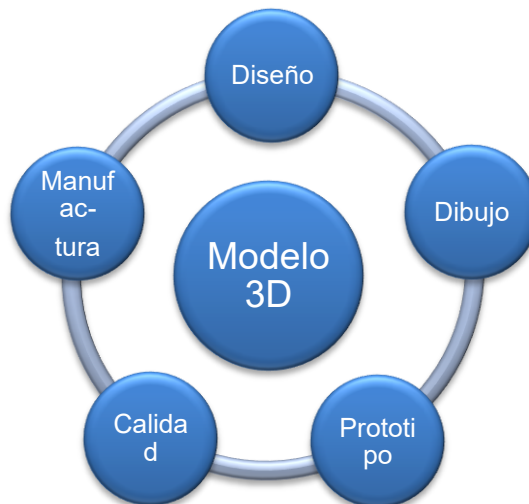
- 1) Al compartir recursos pueden surgir problemas que no se tienen en consideración.
- 2) Las empresas de manufactura pequeñas y medianas, no son las más apropiadas para beneficiarse de la Ingeniería Concurrete.
- 3) La estructura de la empresa necesita ser reorganizada.

²⁷ ANUMBA, C.J *et al.* Supply Chain Implications of Concurrent Engineering. Bradford: MCB UP Ltd, 2000. P.593.

11.TOP DOWN, INGENIERÍA COLABORATIVA Y CONCURRENTE DENTRO DE UNA EMPRESA DE MANUFACTURA

Para la aplicación práctica del Top Down en la industria se cuenta con dos herramientas muy importantes: la Ingeniería Colaborativa y la Ingeniería Concurrente. La primera hace referencia a la necesidad de los departamentos involucrados en el desarrollo de un producto para que puedan trabajar de manera eficiente, independientemente del lugar de su ubicación. Por otro lado tenemos a la Ingeniería Concurrente que promueve la integración de metodologías y procesos, además de que se apoya en un sistema de administración que fomenta la reducción de ciclos de diseño.

Ilustración 1: Flujo de información dentro de un departamento de manufactura bajo el concepto de Ingeniería Colaborativa



Fuente Elaboración propia

Al emplear el Top Down de la mano de estas dos Ingenierías se puede maximizar las ventajas de esta metodología de diseño, ya que el modelo al estar a disposición de todo el equipo de trabajo puede ser modificado fácilmente. Además al estar trabajando de manera colaborativa se encuentran fácilmente los errores y se pueden corregir en etapas tempranas de diseño, adicionalmente hay retroalimentación de las diferentes áreas de experticia gracias a los equipos multidisciplinarios.

Para trabajar de manera eficiente en equipo y asegurar el intercambio de datos se puede utilizar un software con características colaborativas, proe cuenta con el modulo de Windchill, que permite administrar y dividir las tareas, supervisar su evolución y también pone a disposición del equipo de trabajo el modelo del producto. El correcto intercambio de información es un factor clave en el éxito del proyecto, esta debe ser fluida y estar en formatos compatibles, para que facilitar su intercambio.

Al equipo de trabajo se le reparte información relacionada con:

- Herramental
- Planos
- Control de calidad
- Materiales
- Procesos de manufactura
- BOM (listado de materiales, por sus siglas en inglés)

8. SELECCIÓN DE PRODUCTO

Ilustración 1: Prensa de banco



Fuente: < <http://www.autotool.com.ve/interna.asp?id=29&nom=Equipamiento>>

Para desarrollar este proyecto de grado se ha elegido la prensa como objeto que servirá de ejemplo para implementar las metodologías de diseño Top Down y Bottom Up. Se seleccionó este producto ya que es muy cercano a la carrera Ingeniería de producción, pues sus estudiantes tienen como fin desarrollar una prensa en la materia Manufactura.

La prensa de banco es un dispositivo que tiene como función prensar, para esto cuenta con dos mordazas una fija y otra móvil. La sujeción es necesaria cuando se va a mecanizar o realizar algún proceso sobre una pieza, por ejemplo: ligar, limar o perforar. En estas actividades es necesario que la pieza esté fija, restringida de cualquier movimiento generado por la vibración o fuerza ejercida, para que el usuario pueda modificar la pieza de acuerdo a su necesidad.

El desarrollo de la prensa en la metodología Top Down tiene como objetivo crear una familia de estas, de manera rápida gracias a la parametrización. Como la función principal de la prensa es la sujeción, el cliente puede especificar el volumen que desea sujetar. Siendo los datos de entrada: el ancho, alto y longitud de la prensa. De ahí en adelante el modelo se regenera y en pocos segundos se tendrá una nueva prensa que cumple los requerimientos del cliente, justo con los planos actualizados.

Las especificaciones de diseño de producto o PDS, son una herramienta muy útil a la hora de realizar el desarrollo de producto, ya que permite tener en cuenta lo que desea el cliente en cuanto a funcionamiento y desempeño del producto.

El PDS está conformado por requerimientos de: desempeño, seguridad, ergonomía, material, tamaño, peso, tiempo vida del producto, etc. Pueden hacer tantos requerimientos como el cliente y el producto lo necesiten. No existe un listado preestablecido que se pueda usar para el desarrollo de productos en general. El diseñador se debe poner de acuerdo con el cliente, escucharlo para que sus demandas y deseos se vean reflejados en el resultado final. A medida que avanza el proyecto el PDS puede ser actualizado para cumplir con las nuevas especificaciones y así finalizar con un producto satisfactorio para el cliente.

13.INDICADORES DE GESTIÓN

Los indicadores de gestión permiten saber que tan exitosa es una empresa en el alcance de sus metas, su gran utilidad radica en el hecho que miden el desempeño de una organización y que tanto se acerca a su misión y visión. Estos indicadores varían de acuerdo a cada organización, ya que se adaptan a los requerimientos de esta y a sus fines.

Existen indicadores cuantitativos, de dirección, financieros, etc. La obtención de los indicadores de gestión para comparar las metodologías de diseño Bottom Up y Top Down, se realizo por medio de pruebas de campo en las que participaron estudiantes de Ingeniería de Producción que cursaban la materia de manufactura. A continuación una comparación de cómo se comportan los indicadores de gestión en las metodologías Top Down y Bottom Up.

1. Costos de desarrollo

TOP DOWN	BOTTOM UP
Los costos de desarrollo tienden a disminuir, puesto que las correcciones son realizadas en etapas tempranas del desarrollo, donde son menos costosas.	Estos son mayores puesto que los errores son corregidos una vez se haya integrado los componentes, en esta etapa es más costoso.

2. Precisión del presupuesto inicial

TOP DOWN	BOTTOM UP
El presupuesto tiende a ser muy certero, ya que las actividades y costos del producto son establecidos desde el principio. El proyecto se hace más fácil de gestionar. Se pueden utilizar diagramas de Gantt y construir el listado de materiales (BOM).	Como no se hace una exploración previa es difícil pronosticar, sin saber para donde se va no se puede establecer un presupuesto y una programación de actividades coherente.

3. Número de módulos intercambiables

TOP DOWN	BOTTOM UP
Al proponer el trabajo con una familia de productos y el uso de módulos, es una metodología que acompañada de la ingeniería colaborativa provee una plataforma para el uso de herramientas de producción como el JAT (justo a tiempo)	Debido a que el Bottom Up no provee una imagen clara del proceso, es difícil hacer uso de herramientas de producción que puedan mejorar la calidad y aumentar la productividad. La utilización de módulos intercambiables se hace difícil debido a lo robusto del diseño.

4. Tiempo de respuesta al mercado (*Time to market*)

TOP DOWN	BOTTOM UP
El ciclo de vida es más corto, las modificaciones se hacen más rápido por lo que se hace más fácil responder a los requerimientos del mercado. Gracias a que las actividades desarrolladas en paralelo, el producto sale al mercado más rápido.	Las actividades se desarrollan de manera secuencial, es más demorado, además modificar el producto es más dispendioso, lo que hace que la respuesta a los requerimientos del mercado sea más demorada.

5. Rapidez y agilidad en el intercambio de la información intercambiada

TOP DOWN	BOTTOM UP
Desde el principio cada persona del equipo de trabajo sabe qué actividad desarrollara, y que harán los otros. Plataformas como Windchill permiten trabajar de manera colaborativa, permitiendo documentar todo el proceso que permita replicar el producto. La mejor comunicación permite disminuir los errores y hace más fácil la verificación.	Las personas trabajan de manera independiente, no hay compatibilidad en los archivos que se intercambian, ni estandarización para almacenar la información, lo que genera una mala documentación y una escasa cantidad de datos intercambiados. Debido a la falta de fluidez en la información no sabe si el diseño era exitoso hasta que sea terminado.

6. Nivel de satisfacción del cliente

TOP DOWN	BOTTOM UP
Satisfacción desde el punto de vista de la calidad y rapidez en la respuesta es mucho mayor en esta metodología. Ya que el producto es fácilmente modificable para cumplir rápidamente con los deseos del cliente.	Las necesidades del cliente toman más tiempo en ser satisfecha. Ya que hay que terminar una actividad antes de seguir con la siguiente. Como el control de calidad se hace al final del proceso, este es más dispendioso y se puede obviar errores que de no ser detectados pueden llegar hasta el cliente.

7. Número de cambios no programados

TOP DOWN	BOTTOM UP
En todo proyecto hay cambios no programados, en esta metodología son corregidos más rápidamente y en una etapa más temprana del desarrollo del producto, donde son menos costosas y dispendiosas.	Los cambios ocurren en etapas más avanzadas del desarrollo del producto, ya que no es posible hacer la revisión hasta que el producto este completamente terminado. Esto no solo implica que es más demorado corregir los errores, ya que hay que devolverse hasta el inicio sino que la inversión de dinero es mayor.

8. Costo de la calidad

TOP DOWN	BOTTOM UP
Los costos de calidad son menores, ya que durante el desarrollo del producto se puede verificar que no haya errores, y si estos son encontrados se pueden corregir en etapas tempranas, con los beneficios que esto conlleva.	Son mayores, una vez se ha construido en el prototipo es más difícil aplicar cambios, ya que hay que devolverse a planos de cada pieza y del ensamble general. No solo es el costo del cambio es el costo del tiempo que tarda.

9. Tiempo invertido en correcciones

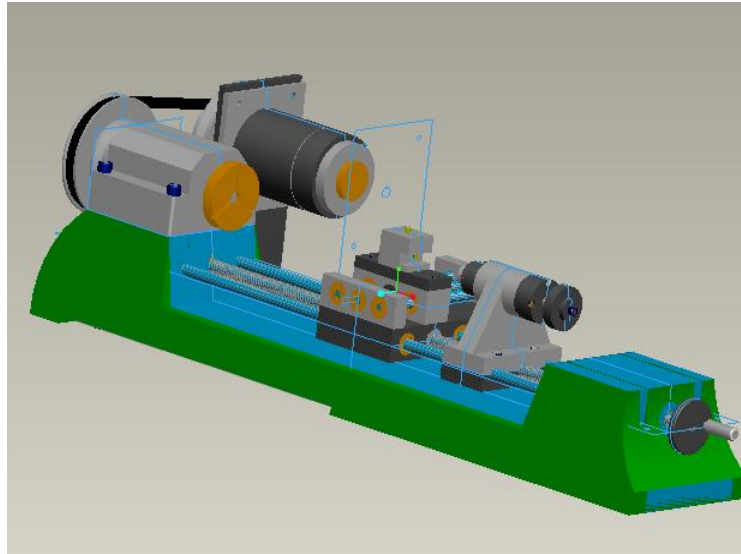
TOP DOWN	BOTTOM UP
Si el cambio es dentro de una familia de productos se puede realizar de manera expedita. Si es una variación que genera un gran cambio en el producto entonces la utilización de la familia de productos queda descartada.	Para agregar componentes nuevos, o realizar productos diferentes esta metodología tiene un mejor comportamiento.

10 Tiempo invertido en capacitación

TOP DOWN	BOTTOM UP
La capacitación en Top Down, toma más tiempo además requiere de un cambio en la cultura organizacional, para poder trabajar también de manera colaborativa.	La metodología Bottom Up se aplica tradicionalmente en las empresas manufactureras, por lo tanto para su utilización no hace falta invertir tiempo en la capacitación.

12.CASO DE ESTUDIO: EL TORNO

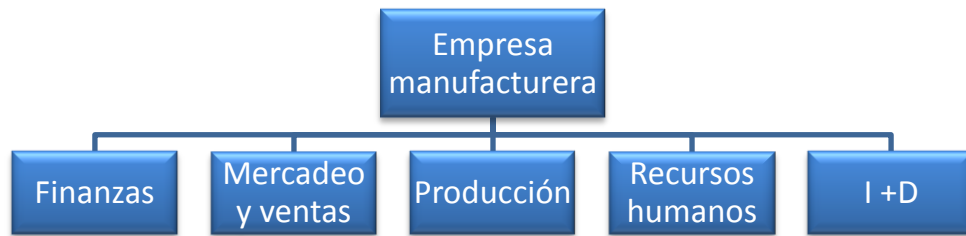
Ilustración 1: Ensamble torno, modelado mediante Top Down



Fuente: ARANGO RODRÍGUEZ, Carlos Enrique y PARAMO BERMUDEZ, Gabriel Jaime. 2006.
Proyecto de grado: Exploración de la metodología TOP DOWN en sistemas CAD para el desarrollo de un modelo de ingeniería Medellín, Colombia

Este caso de estudio se realizó en base al proyecto de grado presentado por Carlos E. Arango en el año 2006. “Exploración del Top Down design”. En el cual se estudió la metodología Top Down en un ensamble de un torno de más de 120 piezas. Se propone entonces estudiar este caso desde la perspectiva de un departamento de manufactura, como se mencionó anteriormente los beneficios del Top Down se maximizan al ser utilizado con la Ingeniería Concurrente y Colaborativa.

Ilustración 2: Departamentos de una empresa de manufactura

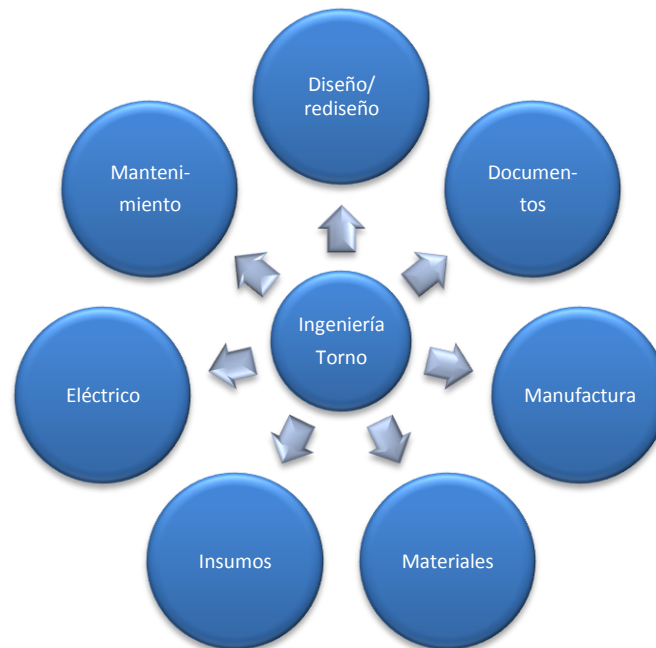


Fuente Elaboración propia

En esta imagen se puede observar la composición de una empresa manufacturera que desarrolla sus propios productos de acuerdo a los requerimientos específicos de sus clientes. Es decir practica el MTO (*make to order*, por sus siglas en ingles).

La compañía cuenta con 5 departamentos, se hará énfasis en el área de producción la cual se encarga de toda la ingeniería relacionada con el desarrollo y funcionamiento del torno. Esta ingeniería incluye manufactura, mantenimiento, I+D, materiales, entre otros. Las diferentes áreas se intercomunican entre sí, ya que el flujo de información precisa en el equipo de trabajo es muy importante en el desarrollo del producto y en la implementación de la Ingeniería Colaborativa.

Ilustración 3: Ingeniería alrededor del desarrollo del torno



Fuente Elaboración propia

- **Materiales:** en este aspecto se puede simular el comportamiento del material en que está fabricado el torno y sus partes, permitiendo realizar un análisis del comportamiento del material y si es necesario cambiarlo por uno que resista los esfuerzos a los que es sometido. También estudiar la consecuencia de los diferentes esfuerzos que tiene que soportar el torno al entrar en funcionamiento, para cambiar geometría si es necesario o evitar la concentración de esfuerzos.
- **Manufactura:** los procesos de manufactura pueden ser simulados una vez se tiene listo el ensamble, es decir una vez el torno ha sido terminado de modelar en su totalidad. Si se va a utilizar una maquina de control numérico

en la fabricación de alguna de las partes, proe arroja el código G necesario y así mismo se puede definir el herramental.

- **Eléctrico:** es necesario establecer los requerimientos eléctricos para el funcionamiento del torno, que motor se necesita para impulsarlo y asegurar las revoluciones por minuto para que pueda cumplir con su función.
- **Mantenimiento:** la planeación del mantenimiento sirve para prevenir paros inesperados en la producción, así se puede asegurar la fecha de entrega del producto al cliente.
- **Documentación:** es muy importante la parte documental del proyecto para poderlo replicar en el futuro, por esto se debe establecer un sistema para guardar y administrar la información. Contar con la documentación de un proceso sirve también para evitar cometer errores más de una vez, así se ahorra tiempo y dinero.
- **Diseños/ rediseños:** los cambios son realizados para adaptar el torno de acuerdo a las necesidades del cliente, gracias a que se cuenta con un esquema, son muy fáciles de elaborar. Se cuenta con otro beneficio, los planos pueden ser rápidamente actualizados, ya que es cuestión de regenerarlos en proe.
- **Control de calidad:** a través del proceso se puede realizar este control al producto, como desde las etapas tempranas están establecidos los objetivos y especificaciones se hace sencillo corregir los errores.
- **Insumos:** una vez creado en el ensamble, se puede obtener automáticamente el listado de materiales. Hay partes comerciales, como son todos los tornillos los cuales deben ser comprados a proveedores externos. Otras piezas serán manufacturadas bajo pedido de acuerdo a los cambios en la geometría del torno

y la variación de las medidas. A continuación se encuentra una parte del BOM arrojado por el proe:

Ilustración 4: Extracto del BOM arrojado por proe

Assembly TORNO_TDD contains:			1	Part	TORNILLO_EJE_Y
			1	Part	EJES_CARRO_BURIL
			1	Part	MANIVELA_EJE_Y
			1	Part	BUJE_TORNILLO_EJE_Y
			1	Part	BUJE_TORNILLO_EJE_X
			8	Part	BUJES
			6	Part	BUJE_EJES
			1	Part	M4_07_16
			2	Part	MBER02
			1	Part	PIN_MANIVELA_EJE_Y
			1	Part	M4_07_40
			2	Part	ARANDELA_M4
			1	Part	TUERCA_M4
Quantity	Type	Name	1	Part	TORNO_SKEL
			1	Part	POLEA
			1	Sub-Assembly	MANDRIL
			1	Sub-Assembly	SOPORTE_MOTOR
			1	Sub-Assembly	BASE_TORNO
			1	Sub-Assembly	CENTRO_PUNTO
			1	Sub-Assembly	CARRO_EN_Y

Fuente Elaboración propia

14. CONCLUSIONES

En la administración de grandes proyectos, la persona que configure el Top Down debe ser una gran conocedora de los aspectos relevantes a tener en cuenta para que el proyecto fluya y se puedan aprovechar los beneficios de esta metodología de diseño, por ejemplo: el establecimiento de actividades desde el principio en el cronograma.

Al establecer un prototipo paramétrico del producto no solo se agilizan las actividades del departamento, sino que estas pueden ser desarrolladas en paralelo acortando el tiempo necesario para el desarrollo.

Para que el impacto desde la Ingeniería de Producción en un trabajo colaborativo sea positivo, la sistematización de un producto se hace teniendo en cuenta las diferentes actividades desarrolladas en un departamento de manufactura. Entre las cuales se encuentran: los elementos finitos, herramental, etc.

Los departamentos de ingeniería cada vez avanzan más en los trabajos grupales, interdisciplinarios y colaborativos entre sí. Gracias a la metodología Top Down estas tendencias se pueden incorporar en la manufactura de productos.

La persona cuya función sea parametrizar el producto, debe cumplir y satisfacer las necesidades de cada dependencia involucrada en el desarrollo. Se debe contar con parámetros detallados por cada área y conocer las variables que se necesitan tener en cuenta.

Dentro del plan estratégico que se debe dar dentro de la empresa existen Indicadores de gestión, que permiten resaltar los beneficios de desarrollar un proyecto de un gran ensamble mediante Top Down, como son: control de calidad y tiempo de rediseño.

Contar con una plataforma virtual permite trabajar de manera remota y con el software apropiado para esta tarea, permite que el trabajo se desarrolle de manera colaborativa.

16. BIBLIOGRAFÍA

AGOST, M.J *et al.* .Aplicación de Utilidades PLM para la Gestión de Proyectos Colaborativos de Desarrollo de Nuevos Productos. Actas X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. P 983-993. ISBN 84-9705-987-5.

ALEIXOS, N *et al.* Metodología Top Down para la Modelación CAD Avanzada: Desarrollo del Modelo Paramétrico-asociativo de un Radiador de Automóvil. Actas del XIII Congreso internacional de Ingeniería Gráfica, 2001. P 11. ISBN 84-699-5057-6.

ANUMBA, C.J *et al.* Supply Chain Implications of Concurrent Engineering. En: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, vol. 30, no. 7 (2000) Bradford: MCB UP Ltd, 2000. P.566 – 597. ISSN: 0960-0035.

ARANGO RODRÍGUEZ, Carlos Enrique y PÁRAMO BERMUDEZ, Gabriel Jaime. Proyecto de grado: Exploración de la Metodología TOP DOWN en Sistemas CAD para el Desarrollo de un Modelo de Ingeniería. Medellín 2006, vol1. Ingeniero de diseño de Producto. Universidad Eafit. Escuela de Ingeniería.

BOYLE, Todd *et al.* Concurrent Engineering Teams II: performance consequences of usage. En: Team Performance Management, vol.12, no. 5 (2006). Bingley: Emerald Group Publishing Limited, 2006. P.125- 137. ISSN: 1352-7592.

CRESPI, Valentino, GALSTYAN, Aram y LERMAN, Kristina. Top-down vs. Bottom-up Methodologies in Multi-agent System. En: Autonomous Robots, vol. 24, no. 3 (Abril, 2008). Holanda: Springer, 2008. P. 303- 313. ISBN 0929-5593.

HERNANDIS, Bernabé *et al.* Diseño de nuevos productos. Valencia: Servicio de Publicaciones, 1999. P. 21. ISBN 84-7721-761-0.

HINES, Peter, FRANCIS, Mark y FOUND, Pauline. Towards lean Product Lifecycle Management: A Framework for New Product Development. En: Journal of Manufacturing Technology Management, vol. 17, no. 7 (2006). Reino Unido: Emerald Group Publishing Limited, 2006. P 866 – 887. ISBN 1741-038X.

KETOLA, Pekka. Usability Engineering in Concurrent Product Development. En: Lecture Notes in Computer Science, vol. 1840 (Febrero 2004). Heilderberg: Springer, 2004. P 154- 167. ISBN978-3-540-67688-1.

KUNDERT, Kenneth. The Designer's Guide to Verilog-AMS. Boston, Kluwer Academic Publishers, primera edición (Mayo 2004) P.17. ISBN 1402080441.

MAGNAN, Gregory, FAWCETT, Stanley E y BIROU, Laura. Benchmarking Manufacturing Practice Using the Product Life Cycle. En: Benchmarking: An International Journal, vol. 6, no.3 (1999). Bradford: MCB UP Ltd, 1999. P 239- 253. ISSN: 1463-5771.

MASI, C.G. Hybrid Approach to System Design. Estados Unidos. Revista Control Engineering. Febrero 2008.

MELONI, Wanda. Maximizing the Design Process. En: Computer Graphics World. California: COP Communications, Inc. no.1 (Enero 2008). www.cgw.com

NARS, Emad Abouel, Kamrani, Ali K. Collaborative Engineering. En: Computer-Based Design and Manufacturing. Estados Unidos: Springer, 2007. P. 303- 321. ISBN 978-0-387-23323-9.

NASR, Emad Aboue, KAMRANI, Ali K. Computer Based Design and Manufacturing. Primera edición (Noviembre 2006). Estados Unidos: Springer, 2006. P.344. ISBN: 0387233237

PARK, Whan y SMITH, Daniel. Product-level Choice: a Top-down or Bottom-up Process? En: The Journal of Consumer Research, vol. 16, no. 3 (Dec., 1989). Chicago: The University of Chicago Press, 1989. p. 289-299.

Product Design and Development @ 2009.

<<http://www.pddnet.com/scripts/ShowPR.asp?RID=22661&CommonCount=0>>

REMMERS, Victor. Victor Remmers. Top-Down Design Tools Managing Complex Assemblies. Estados Unidos. PTC. 26.02.2009.

<http://www.tutorialhero.com/tutorial-49191-top_down_design_tools_managing_complex_assemblies.php>

RIBA Carles *et al.* A Framework for Tolerance Analysis in Collaborative Engineering Mechanical Design. En: Cooperative Design, Visualization, and Engineering, vol. 5220 (Septiembre 2008). Heidelberg: Springer, 2008.P. 58-65. ISBN 978-3-540-88010-3.

RODDIS, Kim. Knowledge-Based Assistants in Collaborative Engineering. En: Artificial Intelligence in Structural Engineering, vol. 4200 (Noviembre 2006). Heidelberg: Springer, 2006. P. 519-528. ISBN 978-3-540-46246-0.

ROUIBAH, Kamel y CASKEY, KEVIN. Change Management in Concurrent Engineering from a Parameter Perspective. En: Computers in Industry, vol. 50, no.1 (Enero 2003). Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V, 2003. P. 15 - 34. ISSN: 0166-3615

SANTORO, Flávia Maria, BORGES, Marcos y SANTOS, Neide. Learning to Plan the Collaborative Design Process. En: Computer Supported Cooperative Work in Design, vol. 3168 (Noviembre 2005). Heidelberg: Springer, 2005. P. 33- 44. ISBN978-3-540-29400-9.

STAHL, Armin. Defining Similarity Measures: Top-Down vs. Bottom-Up. En: Lecture Notes in Computer Science, vol. 2416 (Enero 2002). Heilderberg: Springer Berlin, 2002. P. 404 -420. ISBN 978-3-540-44109-0.

STARBEK, Marko y GRUM, Janez. Concurrent Engineering in Small Companies. En: International Journal of Machine Tools & Manufacture. Vol.42 (2002). Oxford: Pergamon, 2002. P 417–426.

THILMAY, Jean. 2. Engineering meets Manufacturing. En: Mechanical Engineering, vol. 129, no. 12 (Diciembre 2007) New York: Asme American Society of Mechanical Engineering, P. 20-23. ISSN 0025-6501.

Vehicle Dynamics Expo (Stuttgart). Integrated Global Chassis Control - A Top-Down Design Approach. Stuttgart: TTTech Computertechnik AG 2006.P 20.

YINGGUANG Li et al. A PDM- based Framework for Collaborative Aircraft Tooling Design. *En: International Journal of Production Research*, vol. 46, no 9 (Mayo 2008). P. 2413- 2431.

YU- LIANG, LI y WEI, Zhaoi. Development of an Integrated- Collaborative Decision Making Framework for Product Top- Down Design Process. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol.25, no. 3 (Junio 2009). Tarrytown: Pergamon Press, Inc, 2009. P 497-512. ISSN: 0736-5845.

ZAIRI, Mohamed. Top-down Innovation for Bottom-up Results. En: World Class Design to Manufacture, vol. 2, no. 1 (1995). Bradford: MCB UP Ltd, 1995. P 6 – 12. ISBN 1352-3074.

17.CITAS

¹ PTC, pro engineering versión 4.

² IBID.

³ HERNANDIS, Bernabé *et al.* Diseño de nuevos productos. Valencia: Servicio de Publicaciones, 1999. p.21.

⁴ CRESPI, Valentino *et al.* Top-down vs. bottom-up methodologies in multi-agent system design. Received: 18 May 2007 / Accepted: 14 December 2007 / Published online: 5 January 2008 © Springer Science+ Business Media, 2008. p.1

⁵ MASI, C.G. Hybrid approach to system design. Estados Unidos. Revista Control Engineering. Febrero 2008. p.58

⁶ KUNDERT, Kenneth. The Designer's Guide to Verilog-AMS. Boston, Kluwer Academic Publishers. 2004. P.17

⁷ IBID.

⁸< <http://mrsmith321.wordpress.com/2007/09/17/top-down-design-and-the-modular-approach-extra-note>>

⁹ REMMERS, Victor. Victor Remmers. Top-Down Design Tools Managing Complex Assemblies. Estados Unidos. PTC. 26.02.2009. p.5

¹⁰ IBID

¹ <http://www.springerlink.com/content/l36581754617688x/fulltext.pdf>. Consultado el 20 de agosto de 2009, p.18.

² RODDIS, Kim. Knowledge-Based Assistants in Collaborative Engineering. Berlin: Springer, 1998. P.320

³ SANTORO, Flavia Maria *et al.* Learning to Plan the Collaborative Design Process. Berlin: Springer, 2005. P.33.

⁴ RIBA, Carles *et al.* A Framework for Tolerance Analysis in Collaborative Engineering Mechanical Design. Berlin: Springer, 2008. p.58.

⁵ NASR, Emad Aboue, KAMRANI, Ali K. Computer Based Design and Manufacturing. Estados Unidos: Springer, 2007. P.307

⁶ RIBA, Carles *et al.* A Framework for Tolerance Analysis in Collaborative Engineering Mechanical Design. Berlin: Springer, 2008. p.58.

⁷ SANTORO, Flavia Maria *et al.* Learning to Plan the Collaborative Design Process. Berlin: Springer, 2005. P.34.

⁸ RODDIS, Kim. Knowledge-Based Assistants in Collaborative Engineering. Heidelberg: Springer. 2006. P.320

⁹ NARS, Emad *et al.* Computer-Based Design and Manufacturing. Houston: Springer, 2007.p.309.

²⁰ IBID.p.311

² SANTORO, OP.CIT., P29

²² ROUIBAH, Kamel y CASKEY, Kevin. Change Management in Concurrent Engineering from a Parameter Perspective. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V, 2003. P.17

²³ IBID,p.22

²⁴ STARBEK, Marco y GRUM, Janez. Concurrent engineering in small companies. Oxford, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Received 4 May 2000; accepted 20 July 2001. p.418.

²⁵ IBID, p.418

²⁶ ANUMBA, C.J *et al.* Supply Chain Implications of Concurrent Engineering. Bradford: MCB UP Ltd, 2000. P.567

²⁷ ANUMBA, C.J *et al.* Supply Chain Implications of Concurrent Engineering. Bradford: MCB UP Ltd, 2000. P.568

²⁸ BOYLE, Todd *et al.* Concurrent Engineering Teams II: performance consequences of usage. Emerald Group Publishing Limited, 2006. P.125.

²⁹ ANUMBA, C.J *et al.* Supply Chain Implications of Concurrent Engineering. Bradford: MCB UP Ltd, 2000. P.593.

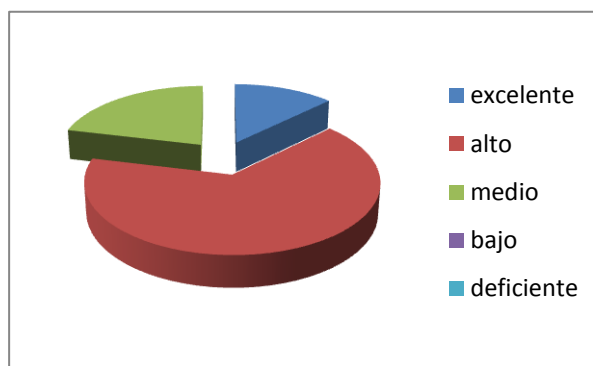
ANEXOS

1. ENCUESTA

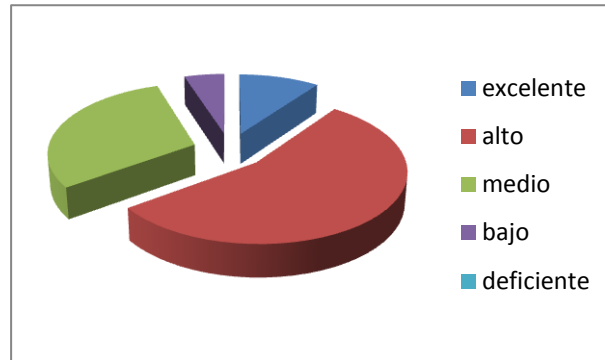
Ficha técnica

- Realizada por: Verónica Restrepo.
- Unidad de muestreo: estudiantes de procesos de manufactura.
- Fecha: Noviembre 2009.
- Técnica de recolección de datos: encuesta.
- Tamaño de la muestra: 47 personas.
- Número de preguntas formuladas: 10.

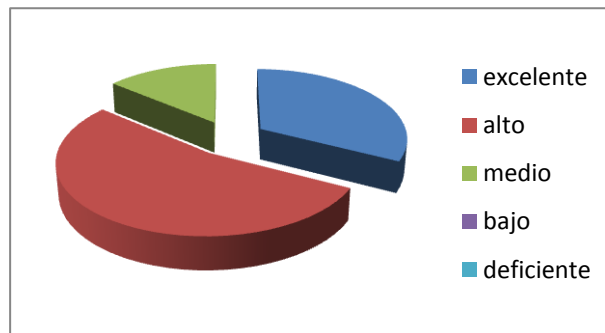
1. El control de calidad en un proceso que se desarrolle mediante la metodología TD es:



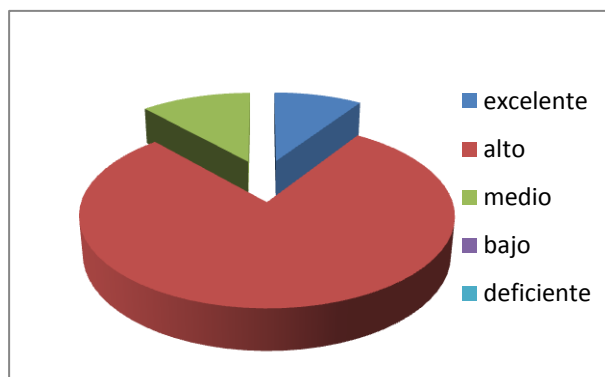
2. Los cambios necesarios a través de un proyecto manejado con TD, son hechos en una etapa del proceso considerada como:



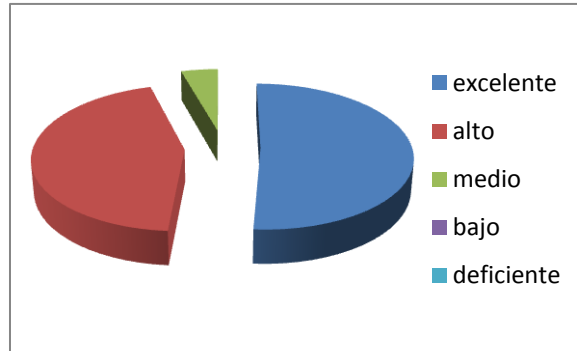
3. Gracias a un presupuesto claro desde el principio, la administración de un proyecto bajo TD es:



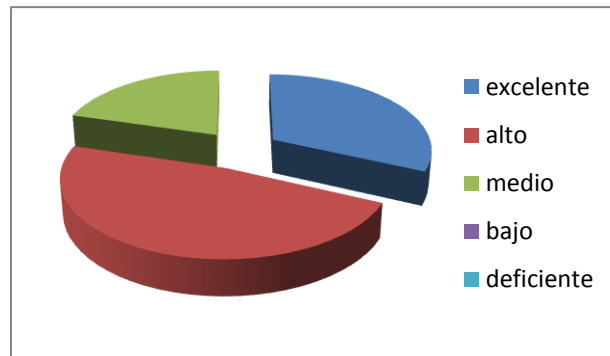
4. Las herramientas de producción mejoran la calidad del producto, bajo la metodología Top Down su aplicación es:



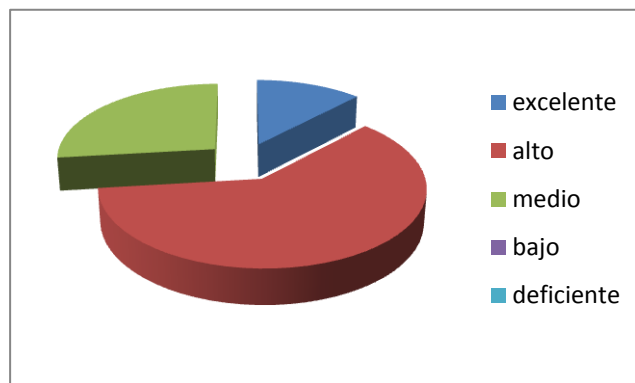
5. En el mercado actual es vital responder rápidamente a las necesidades del mercado, bajo TP esta respuesta es:



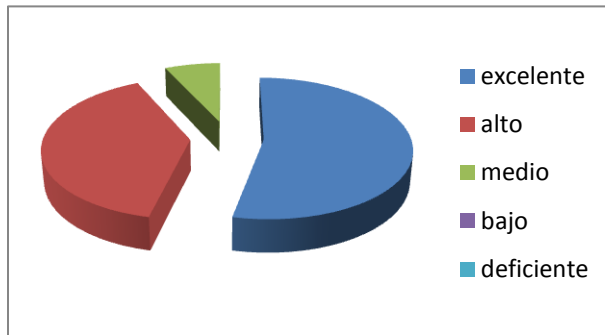
6. Cómo definiría la reducción de costos en el ciclo de vida de un producto desarrollado bajo la metodología mencionada anteriormente:



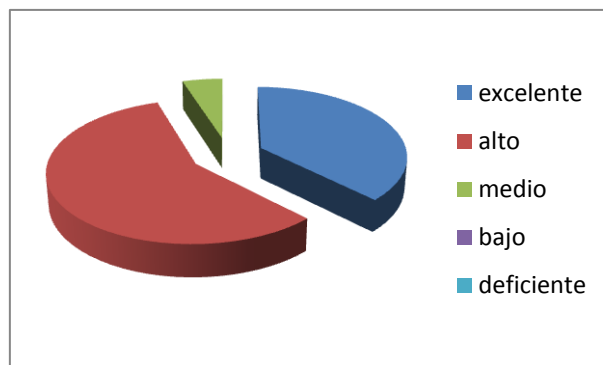
7. La capacidad para medir el éxito o fracaso de un proyecto desarrollado bajo TD, mediante los indicadores de gestión es:



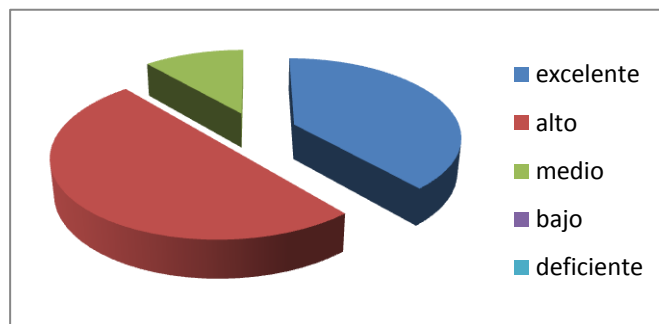
8. Considera Ud. que la productividad del equipo de trabajo, gracias fácil acceso de planos e información, es:



9. La comunicación con el cliente a través de un proyecto programado con el Top Down es:

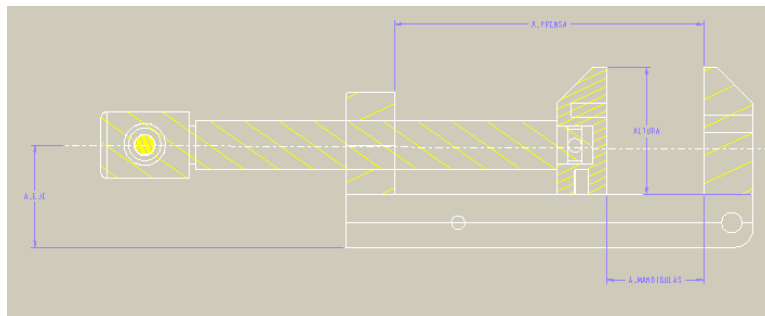
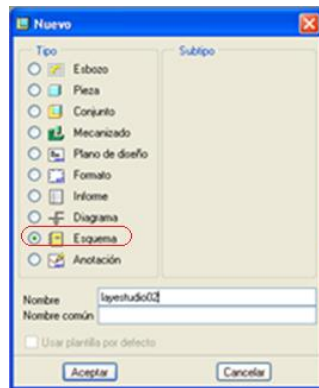


10. Las personas involucradas en un equipo de trabajo que desarrolla un producto mediante TD, conocen claramente la asignación de sus tareas el objetivo y metas a alcanzar:

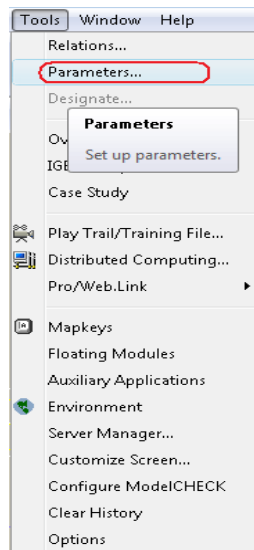


2. TUTORIAL TOP DOWN

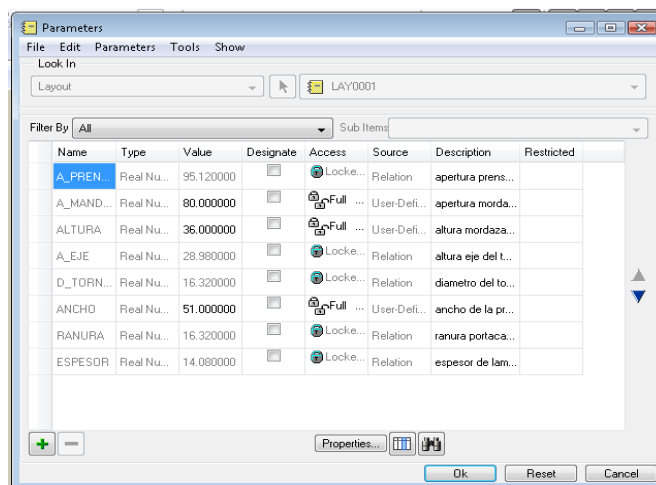
Al abrir proe se comienza por crear un esquema (*layout*), en el cual se dibuja el producto.



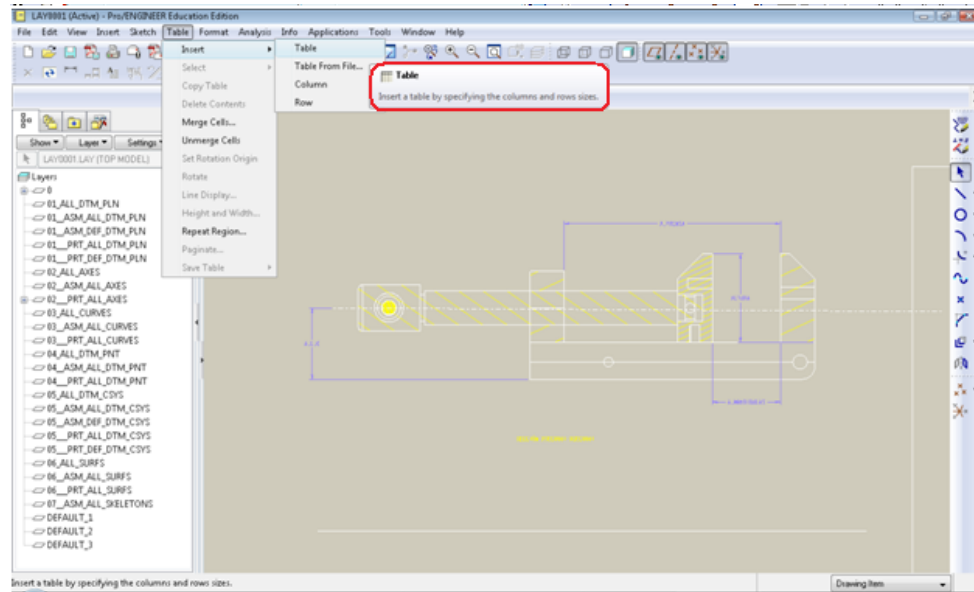
Una vez dibujada la prensa se seleccionan los parámetros que gobernarán su geometría. Se encuentran en: Herramientas/ parámetros.



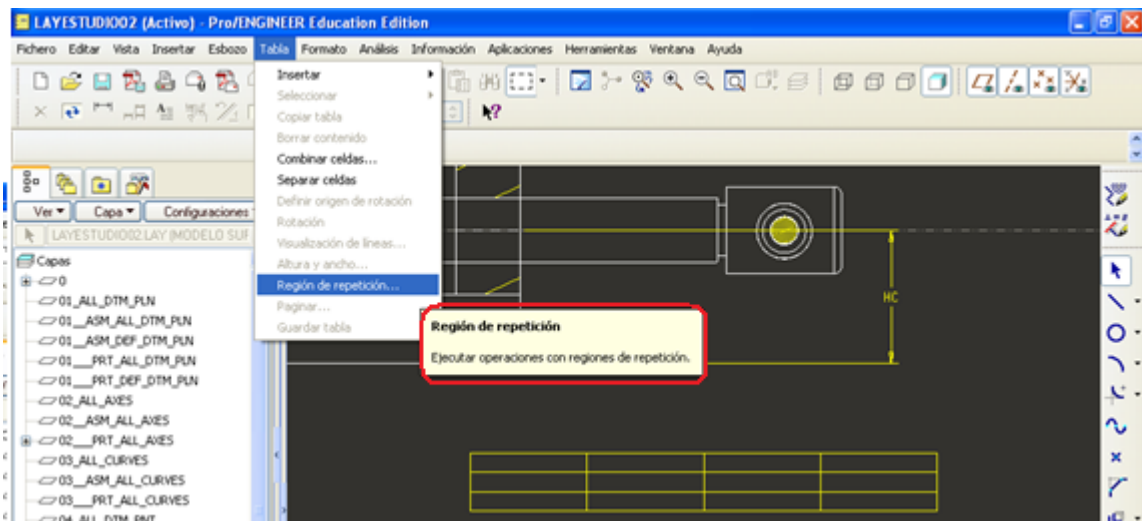
A continuación se puede llenar la tabla de parámetros, en el caso de la prensa se utilizarán: apertura de la prensa, apertura mordaza, altura mordaza, altura del eje, diámetro del tornillo, ancho de la prensa, ranura porta carro, espesor de lamina. Se debe tener especial cuidado que el tipo elegido para los parámetros sea un número real.

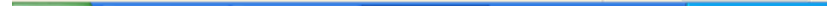


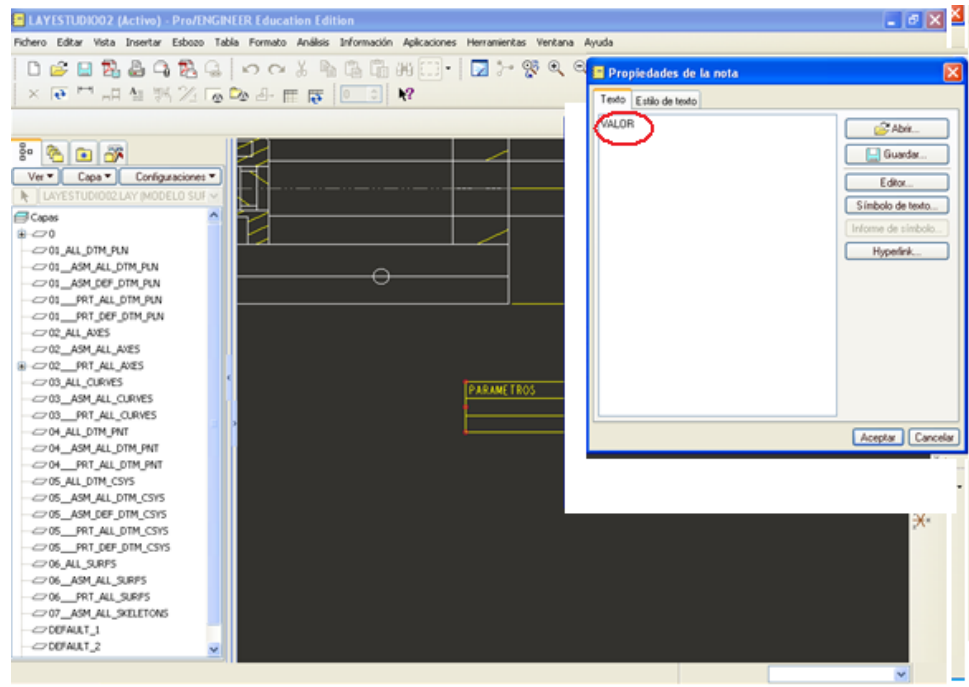
Los parámetros deben estar organizados en un tabla creada en el esquema.



En la tabla se crea una región de repetición



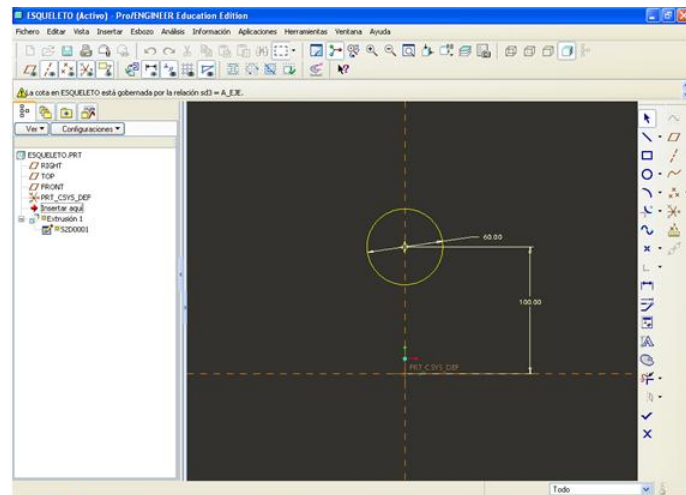




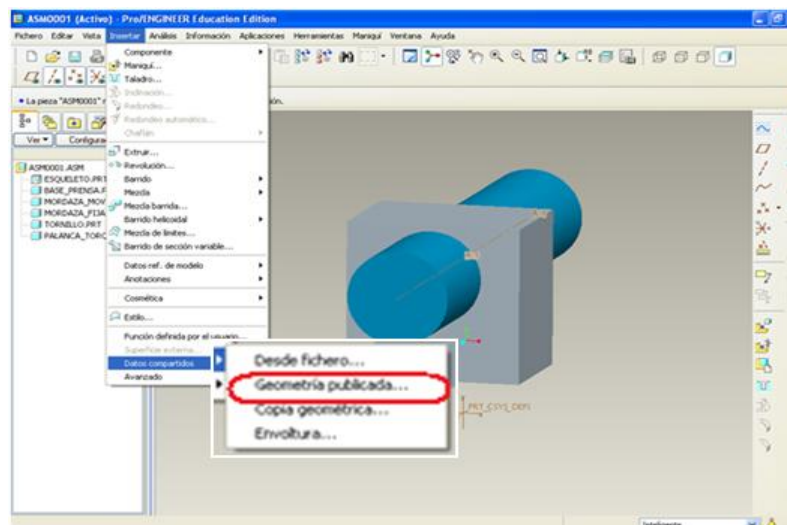
Se llena la tabla con los parámetros enunciados inicialmente en el esquema y con los valores iniciales que puede tomar.

PARAMETROS	VALOR	DESCRIPCION	LIMITES
AP	150.000		
APMOVIL	50.000		
AS	10.000		
D	50.000		
H	50.000		
HC	25.000		

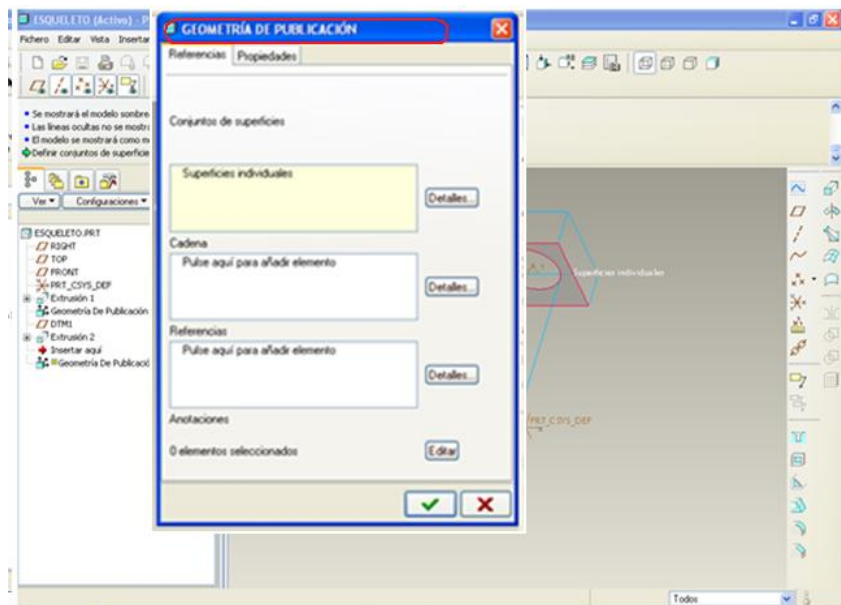
Una vez terminado el esquema, se prosigue con el esqueleto. Se toman entonces las geometrías representativas del producto, en este caso empezamos por el tornillo de la prensa. El numero de esqueletos depende de la complejidad del producto, obviamente un gran ensamble contara con una cantidad mayor.



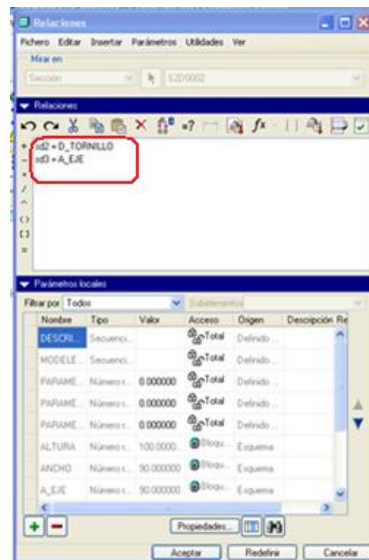
Al crear el esqueleto debe estar en sesión el esquema. Se dibuja el esqueleto y luego se publican las geometrías necesarias. Para amarrar el esqueleto al esquema se usan las geometrías de copiadas. Así los cambios se extenderán por todo el sistema. Insertar/ datos compartidos/ geometría publicada



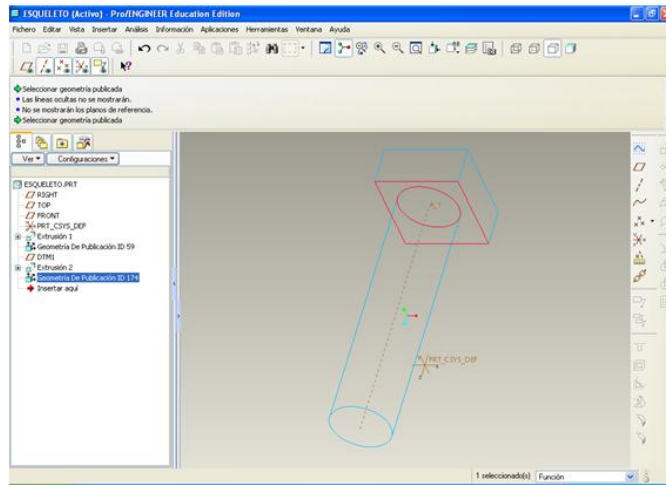
Se prosigue entonces a insertar la geometría elegida en el esqueleto. Ensamble de datos compartidos.



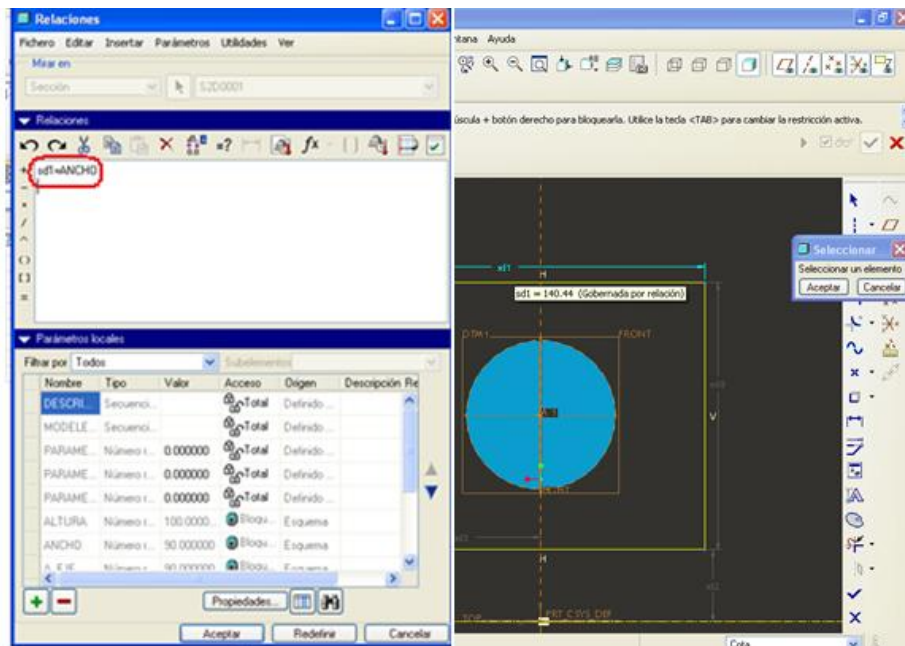
Se establecen relaciones dentro del esqueleto, para amarrarlo a los parámetros.



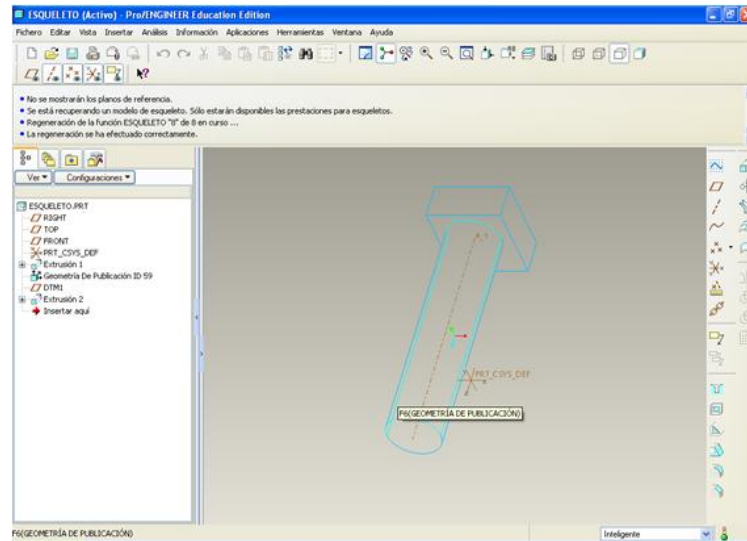
Para este esqueleto se tuvo en cuenta el diámetro, la altura del eje y la mordaza móvil.



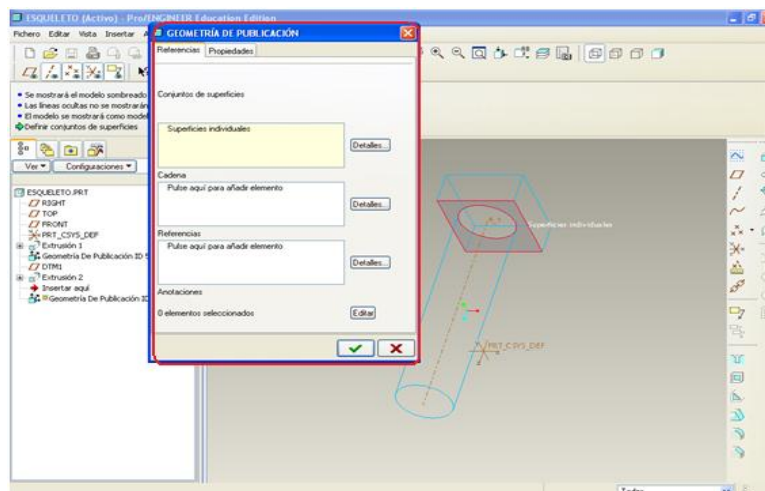
En el esqueleto se tiene se establecen las referencias y parámetros necesarios.
En este caso se establece el ancho que podrá tomar la mordaza.



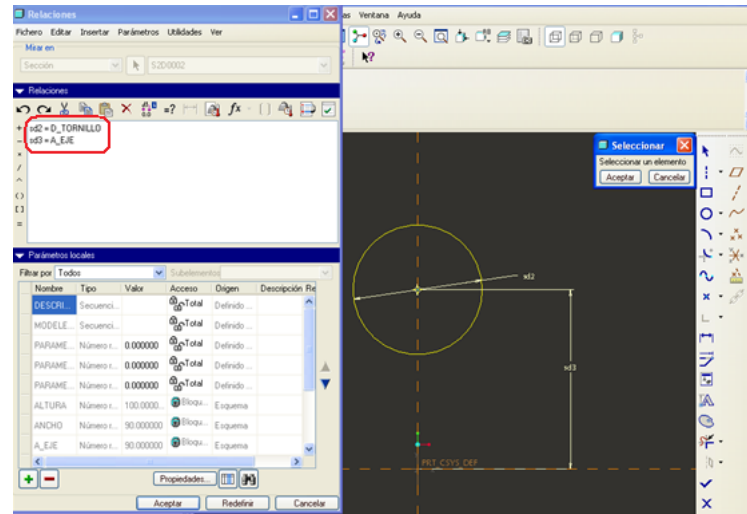
Se selecciona la pieza cuya geometría será copiada.



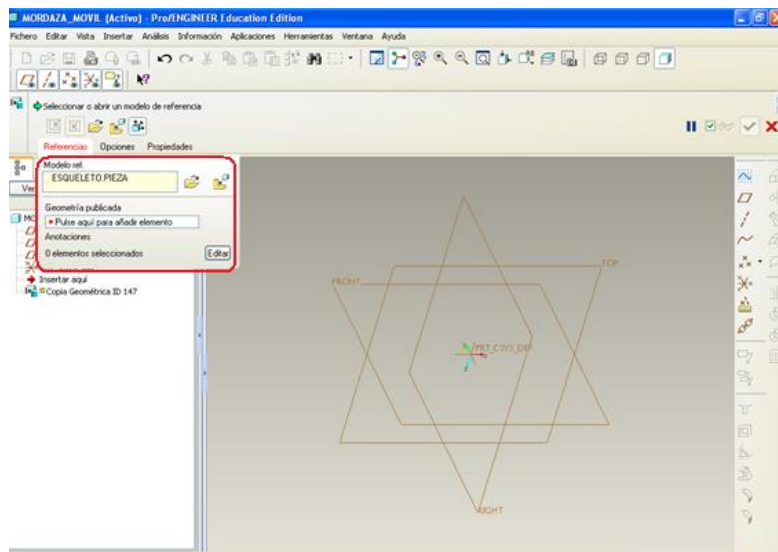
Se abre la mordaza, cuya geometría fue publicada y se copia en el esqueleto.



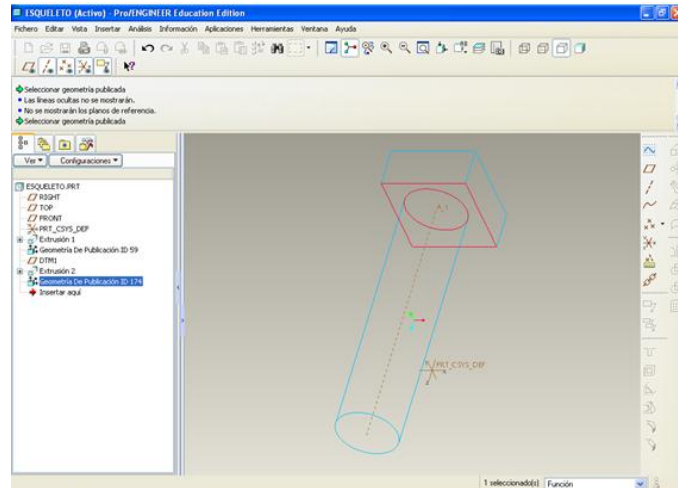
Se utilizan los parámetros para establecer proporciones dentro del esqueleto. Por ejemplo: el diámetro del tornillo y la altura del eje.



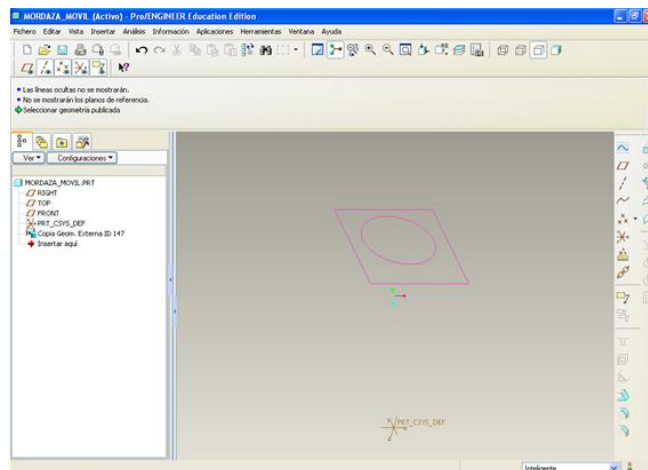
Una vez se ha terminado de crear los esqueletos necesarios se puede continuar dibujando las piezas y ensamblándolas para terminar el producto.



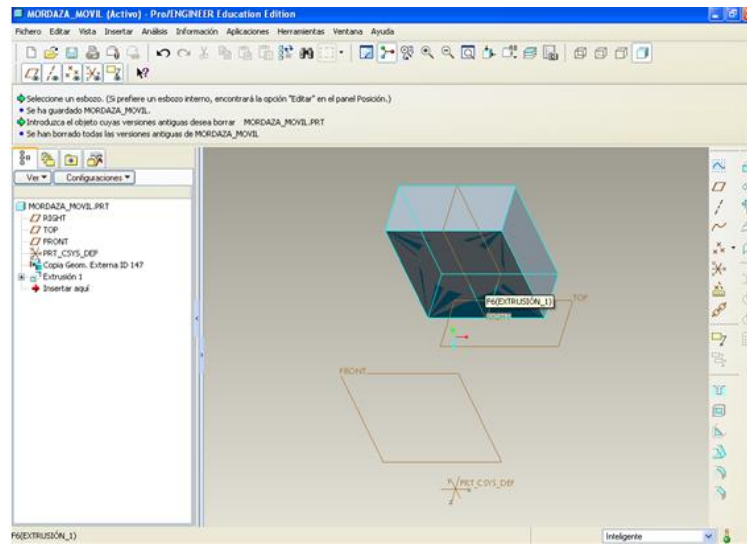
Las geometrías del esqueleto sirven como guía para dibujar las partes.



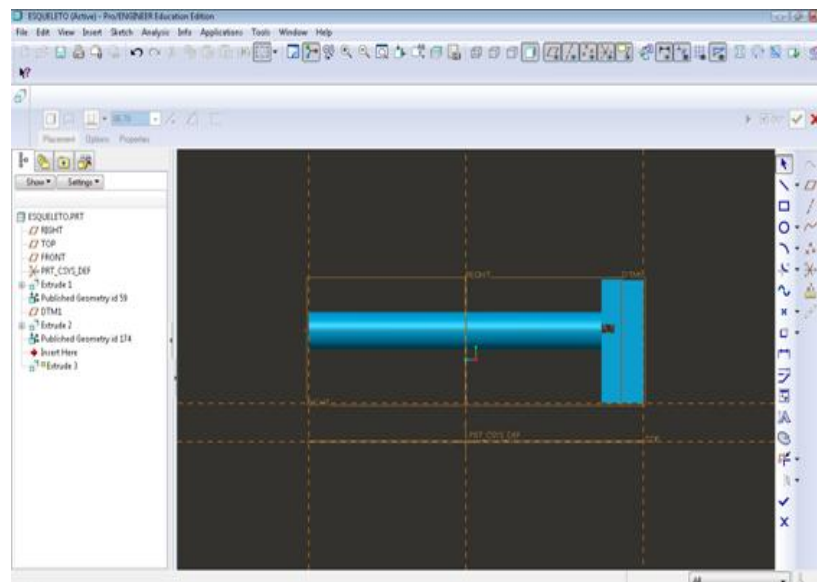
Se dibuja la mordaza móvil, a la cual se le había creado el esqueleto anteriormente.



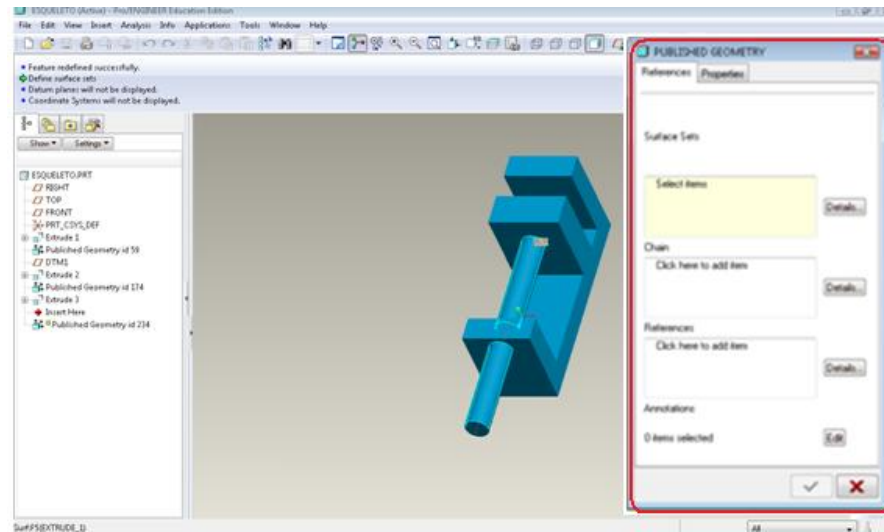
Para completar la pieza esta se extruye y se le dan detalles de diseño



Luego se selecciona la geometría del diámetro que se encuentra en el esqueleto.



Se modela entonces esta parte



El procedimiento de modelar continúa para todas las piezas que conforman el producto. Los esqueletos son utilizados para transmitir la intención de diseño. Finalmente se modelan las piezas y se ensamblan.

